

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

**Restaurátorské technologie a zkoušky při sanaci
kamenných a zděných konstrukcí**

**Restoration technology and tests during the
rehabilitation of stone and masonry structures**

Diplomová práce

Autor:

Bc. Karla Heczková

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tereza Majstríková, Ph.D.

Ostrava 2017

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na mojí diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3)
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí bakalářské práce paní Ing. Tereze Majstríkové, Ph.D. za její metodické vedení, poskytnutí odborných materiálů, informací a cenných rad k vytvoření této práce. Také bych ráda poděkovala paní Mgr. BcA. Markétě Müllerové za poskytnutí a umožnění provedení odborné stáži, díky které jsem se blíže seznámila s restaurováním historických objektů a materiály s tím spjaté. Na závěr věnuji poděkování svému příteli a rodině za podporu a vytvoření vhodných podmínek ke vzniku této práce.

Anotace

Historické zděné konstrukce se na našem území vyskytují poměrně běžně. V případě provádění rekonstrukcí je však nutné pochopit jejich problematiku, jak v oblasti stavebně technických průzkumů, tak i případných sanací. Z tohoto důvodu v teoretické části práce jsou popsány používané historické materiály, ze kterých vznikaly různé typy stavebních prvků. Dále je popsán také materiál zvaný románský cement, který byl používán již dříve a upustilo se od něj z důvodu neustálého objevování a vyvíjení se nových a lepších vlastností materiálu. V současné době se ale k románskému cementu a materiálu podobných vlastností opět vrací, a to zejména v oblasti restaurování. Praktická část je zaměřena na seznámení se s materiálem tohoto původu na odborné stáži. Experimentální část zahrnuje zkoušky k ověření a zjištění parametrů románského cementu dvou různých výrobců (Vicat a Remmers), které jsou vyžadované v restaurátorství. Tento materiál je dále porovnán s běžnými materiály, jako je vápno a cement.

Klíčová slova

Románský cement, malty, historické materiály, restaurování, cement, vápno.

Annotation

Historic masonry structures are relatively common in our country. In the case of reconstruction, it is necessary to understand the issues of technical building surveys and also restoration. For this reason, in the theoretical parts of the work are described used historical materials for creation various types of construction elements. Material called Roman cement is also described as it was used in the past and was abandoned due to the reason of constant development of new materials with better characteristics. Currently, Roman cement and materials with similar properties are reused, especially in the area of restoration. The practical part is focused on making acquainted with the materials during professional internship. Experimental part includes tests for verification and determination of the characteristics of Roman cement from two different producers (Vicat and Remmers), which are required in restoration. This material is further compared with conventional materials such as lime and cement.

Keywords

Roman cement, mortars, historical materials, restoration, cement, lime.

Obsah

Seznam zkratk	8
TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1. Úvod	9
2. Historické stavební materiály	11
2.1. Cihly nepálené.....	11
2.2. Cihly pálené	12
2.3. Kámen na území ČR	13
3. Historické malty	14
3.1. Zdící malty	15
3.2. Podlahové malty.....	15
3.3. Spárovací malty.....	16
3.4. Malty pro omítání.....	16
4. Románský cement	17
4.1. Historie románského cementu.....	18
4.2. Výroba románského cementu.....	19
4.3. Tuhnutí a tvrdnutí malt z románského cementu.....	19
4.4. Vlastnosti románského cementu	20
5. Historické zdivo.....	21
PRAKTICKÁ ČÁST – odborná stáž	23
6. Historie zámku Náměšť nad Oslavou.....	23
7. Restaurátorské práce na zámku Náměšť nad Oslavou	25
7.1. Čištění a odsekávání poškozených částí fasády	25
7.2. Zpevňování a hydrofobizace kamene.....	27
7.3. Injektování a lepení zachovalých částí pískovce	29
7.4. Doplnění umělým kamenem	31

7.5.	Konečné úpravy fasády	34
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST		35
8.	Příprava zkušebních vzorků z románského cementu, vápna a portlandského cementu	35
8.1.	Zkušební vzorky z románského cementu (Remmers a Vicat)	35
8.2.	Zkušební vzorky z vápna	36
8.3.	Zkušební vzorky z portlandského cementu	37
9.	Popis prováděných zkoušek na zkušebních vzorcích	37
9.1.	Stanovení počátku a konce tuhnutí	37
9.2.	Stanovení konzistence	39
9.3.	Stanovení obsahu vzduchu	39
9.4.	Pevnost v tahu za ohybu	40
9.5.	Pevnost v tlaku	41
9.6.	Přidržnost k povrchu	42
9.7.	Mrazuvzdornost	43
10.	Výsledné hodnoty zkušebních vzorků z jednotlivých materiálů	44
10.1.	Stanovení počátku a konce tuhnutí	44
10.2.	Stanovení konzistence	46
10.3.	Stanovení obsahu vzduchu	47
10.4.	Pevnost v tahu za ohybu	48
10.5.	Pevnosti v tlaku	51
10.6.	Přidržnost k povrchu	53
10.7.	Mrazuvzdornost	56
11.	Závěr	60
12.	Citovaná literatura	62
13.	Seznam příloh	Error! Bookmark not defined.

Seznam zkratek

R_f	je pevnost v tahu za ohybu [MPa]
F	je maximální zatížení při porušení [N]
l	je vzdálenost mezi podpěrnými válečky [mm]
b, h	jsou rozměry zkušebního tělesa v příčném řezu [mm]
R_m	je pevnost v tlaku [MPa]
F	je maximální zatěžovací síla při porušení [N]
A	je zkoušená plocha [mm ²]
R_{fu}	je přídržnost k povrchu v [MPa]

TEORETICKÁ ČÁST

1. Úvod

Stavební památky představují velice složitý soubor prvků materiálů různého složení a různých funkcí, tvořící jeden komplikovaný celek. Tyto objekty nebo jeho části přežívají mnohdy řadu staletí. Tím staví specialisty zabývající se jejich uchováváním před náročný úkol, jak je ošetřovat. Respektování základního pravidla dnešní památkové péče – snahy o maximální zachování původní hmoty památky – vyžaduje hledání takových metod a prostředků ochrany nebo obnovy, jejichž použití prodlouží existenci stavby s minimálním poškozením nebo dokonce náhradou (odstraněním) historických materiálů i konstrukcí. [8]

Řada historických materiálů i technologií se používá dodnes, i když prošly změnami. V některých případech se po přechodném nadšení pro nové produkty vracíme ke „klasickým“. Abychom dokázali co nejlépe posoudit výhody i nevýhody „tradičních“ i „novodobých“ materiálů a postupů, musíme co nejpřesněji znát jejich vlastnosti. Z těchto poznatků potom musí vycházet naše návrhy ochrany, obnovy nebo nezbytné náhrady součástí památkových staveb. [8]

Velkým historickým milníkem bylo objevení hlíny jako materiálu vhodného k budování staveb a později využívaného k výrobě nepálených cihel. Takto vznikaly stavby po mnoho let. Zvyšující se požadavky stavitelů vedly ke vzniku prvotních pálených cihel, které zahájily éru zděných staveb, trvající další staletí. Tento materiál našel uplatnění prakticky ve všech oblastech stavitelství, a to ve stavbách inženýrských, průmyslových, stavbách zemědělských, náboženských či občanských. Na rozdíl od kamene, který doposud tvořil základní stavební materiál, nabízí pálené cihly lepší tepelně izolační vlastnosti, nižší hmotnost a přesné rozměry, které velikou mírou zjednodušují realizaci nových staveb. Únosnost zděných konstrukcí je zajištěna důkladným provázáním jednotlivých vrstev cihel spojovaných maltou. Využití pálených cihel se rozšířilo po celém světě a dodnes tvoří nosný systém mnoha staveb. [8]

Restaurování patří spolu s rekonstrukcí a konzervací k základním prostředkům památkové péče. Pojem restaurování se ve 20. století výrazně změnil. V 19. století se jim označovalo uvádění památek do původního stavu. Nicméně problém nastal v tom, že se nejednalo o návraty k historicky reálně existujícímu stavu, ale o přestavby odpovídající tehdejšímu slohovému ideálu. Historicky nepodložené úpravy a ničení dochované

emocionálně působivé podoby vyvolaly silné názorové pnutí. Teoretickým východiskem současného pojetí je Benátská charta z roku 1964. Podle tohoto dokumentu je restaurování „operací, která má podržet výjimečný charakter. Jejím cílem je zachovat a odhalovat estetické a historické hodnoty památky a zakládá se na respektování původní podstaty a autentických dokumentů“. [24]

Vzhledem k velkému zastoupení zděných a kamenných staveb nejen na našem území je zapotřebí umět tyto stavby posuzovat z hlediska konstrukčního uspořádání, z hlediska bezpečnosti, a také komfortu jejich obyvatel. Právě u zděných staveb se můžeme nejčastěji setkat s rekonstrukcemi, kterými prošly v minulosti, a je nutné, aby každá taková rekonstrukce proběhla pod odborným dozorem zkušeného znalce, jak tomu v některých případech bohužel není. To může mít později za následek poškození či havárii konstrukce. [8]

2. Historické stavební materiály

Historicky se na našem území uplatnila široká škála materiálu pro výstavbu kamenných a zděných konstrukcí. Konkrétně mezi takové materiály můžeme zařadit cihly pálené nebo nepálené (vepřovice), kámen, historické malty anebo románský cement.

2.1. Cihly nepálené

Nepálené cihly patří mezi nejstarší stavební materiál. Surovinou pro jejich výrobu byly různé typy hlíny, vzniklé zvětráváním některých hornin, jako jsou ruly, žuly a porfyry. Výsledné produkty zvětrávání jsou jíl, prach, písek a některé další příměsi. Nejdůležitější složkou je jíl, resp. jílové minerály, především illit, montmorillonit a kaolinit. [4]

Výroba nepálených cihel probíhala v minulosti na našem území ve velkém měřítku, jelikož hlavní zdroj pro výrobu – hlína – byla nejdostupnějším stavebním materiálem. Obsah jílové složky v nepálených cihlách je ve většině případů v rozmezí 10-30 %. [4] Kvůli zlepšení mechanických vlastností hotových cihel se do hlíny přidával vláknitý organický materiál, jako je sláma ve formě řezanky nebo štětiny. Přestože se hlína modifikovala, celkově mechanické vlastnosti tohoto materiálu s výjimkou pevnosti v tlaku nejsou optimální. Hlína se obvykle nakopala již na podzim, přes zimu se nechala odležet a teprve v jarních měsících byla zpracována. Nejprve byla hlína zvlhčena, přičemž množství záměsové vody bylo udržováno na nejnižší možné úrovni, a po nabobtnání jílu byla hlína důkladně prohnětena. Podle potřeby byl rovněž přidán písek nebo vláknité materiály. Z takto připravené hmoty těstovité konzistence pak byly do jednoduchých dřevěných forem bez dna (rámečků), obvykle čtvercového tvaru, dusány cihly, které byly po odformování volně sušeny nejprve ve stínu a pak dosoušeny na slunci. Nepálené cihly mají řadu krajových názvů. V Česku a na Slovensku se vžilo označení například vepřovice, surovice, buchty, syrové cihly, vepříky, truplovice, kořáry a kotovice. [4]

Zdi z nepálených cihel byly stavěny běžným způsobem na maltu připravenou z výchozí hlíny, která promísením s vodou dosáhla potřebné konzistence. Stejná malta, případně s přidavkem plev, řezanky či štětiny byla občas používána k omítání hotové zdi nebo k zamazávání nosné proutěné konstrukce (mazanice, lepenice). Hliněné stavby mohly být budovány i jinými způsoby. Jednalo se o tzv. nakládáné stavby, kdy pásy prohnětené hlíny byly volně, tj. bez bednění nakládáné na sebe. Dále se jednalo o nabíjené stavby, kdy se prohnětená hlína dusala do bednění. Stavby z hliněných válků byly budovány tak,

že ručně uválené bochníky hlíny byly do zdi kladeny ve vlhkém stavu, takže se k sobě lepily. [4]

2.2. Cihly pálené

Surovinou pro pálené cihly jsou, stejně jako u nepálených cihel, hlíny na bázi jílových minerálů. Další příměsi pálených cihel jsou nejílové minerály, jako je křemen, kalcit nebo slída. Tyto nejílové minerály jsou také obsaženy v nepálených cihlách, ale v odlišném množství. [4]

Výroba pálených cihel je podobná jako u nepálených cihel. Používané hlíny se mohou lišit obsahem i složením jílových komponentů, typem a množstvím nejílových minerálů, ale jejich chování se v průběhu zahřívání na vysokou teplotu (pálení) se výrazně nemění. Při teplotě 500-600 °C dochází k dehydrataci jílových minerálů. Dehydratované aluminosilikáty se při teplotě cca 950 °C, za odštěpení části SiO_2 v amorfni formě, mění ve sloučeninu spinelového typu. Sodík, draslík, vápník, železo a další kationty obsaženy v jílových i nejílových materiálech snižují teploty jednotlivých přechodů. Uvolněné alkalické oxidy a oxidy alkalických zemin spolu s dalšími nečistotami reagují s odštěpeným amorfni SiO_2 za vzniku sklovité fáze. Uvedené oxidy působí jako tavivo, což umožňuje částečné tavení jílových materiálů při nižších teplotách, než by odpovídalo čisté soustavě SiO_2 - Al_2O_3 . Z těchto důvodů je možné pálit cihly a tašky při teplotách 800-900 °C, kdy již vzniká dostatečné množství taveniny. Tavenina tvoří po zchladnutí tuhý roztok – silikátové sklo, kterým jsou potažena a propojena zrnka písku a dalších nejílových složek. Vlastnosti sklovité fáze a její množství závisí na složení výchozích surovin a na teplotě výpalu. Čím větší teplota, tím větší je množství sklovité fáze, a tím také větší pevnost materiálu. Na teplotě výpalu závisí i barva cihel. Pálení při nižších teplotách způsobuje, že cihly jsou žluté a pálením při vyšších teplotách je zbarvení až do červena. [4]

Mechanické a fyzikální vlastnosti závisí na kvalitě výchozích surovin, způsobu zpracování a teplotě výpalu. Pevnost v tlaku u pálených cihel se pohybuje v rozmezí 5-60 MPa, přičemž nejvyšší pevnosti mají cihly používané pro venkovní lícové zdivo. Hodnota pevnosti je hlavním kritériem pro rozdělení cihel do skupin (tříd). Dalším kritériem je objemová hmotnost a s ní související pórovitost, resp. nasákavost. Důležitou vlastností pálených cihel je také mrazuvzdornost, která se určuje podle počtu zmrazovacích cyklů a je ovlivněna pórovitostí a velikostí pórů. [4]

Mezi užité vlastnosti cihel patří i jejich rozměry, které jsou u kusového staviva vždy velmi významné. Důsledkem historického vývoje je velice široký tvarový a rozměrový sortiment cihel, což přináší problémy při opravách a rekonstrukcích historických objektů. Klasické plné pálené cihly se dnes dodávají ve třech různých formátech – velký formát (290 x 140 x 65 mm), malý formát (250 x 120 x 65 mm) a metrický formát (240 x 115 x 72 mm). [4]

2.3. Kámen na území ČR

Kámen, jako většinou hojný přírodní materiál, provází člověka již od pradávna. Používání kamene jako stavebního materiálu na dnešním území České republiky kopíruje, zpravidla s menším či větším zpožděním, historii aplikace kamene v západoevropském stavitelství. Většího využití přírodního kamene sahá do doby železné cca 750 př. n. l. – 0, kdy byly z kamene kladeného na sucho a zpevněného dřevěnou konstrukcí stavěny valy keltských oppid. Pozornost také přitahují i kamenné stély (tzv. menhiry). Většinou se jedná o částečně opracované bloky kamene o váze několika tun. Vhodné horniny byly využívány i pro ušlechtilou kamenickou výrobu. U nás jsou známy menhiry v okolí Prahy, na Rakovnicku, Lounsku nebo Slánsku. [1], [2], [5]

Nejstarší stojící stavební památky na našem území pocházejí z doby románské, kdy se nejčastěji jako stavební kámen používala opuka. Z významných stavebních památek, postavených z opukového zdiva lze uvést baziliku sv. Jiří na Hradě (r. 920), románskou část hradního paláce pod Vladislavským sálem a řadu rotund v Praze. V období gotiky se hlavním stavebním kamenem stává pískovec, který je oproti opuce tvrdší, ale trvanlivější. Mezi významné památky z pískovce řadíme katedrálu sv. Víta, Karlův most a chrám sv. Barbory v Kutné Hoře. Pískovec se pak, jako převažující stavební i sochařský materiál, objevuje i v období baroka. Baroko kromě pískovce dále uplatňuje také karbonátové horniny (vápence, mramory), které se používaly zejména v interiéru na obklady a dlažby. Třetím obdobím hojného užívání pískovce ve stavitelství a architektuře bylo, po gotice a baroku i 19. století. Pískovec byl použit na řadě monumentálních staveb, jako je Národní divadlo a Národní muzeum. Kromě pískovce, opuky a vápenců byly a jsou u nás používány zejména hlubinné horniny, a to žuly a další granitoidy, syenity a gabra. [2], [5]

Přírodní kámen je hornina tvořena jednotlivými minerály, které se od sebe liší chemickým složením, krystalickou strukturou apod. Z celkového počtu více jak 2 500

minerálů se jich na stavbě nejběžněji podílí pouze 25. Horniny se třídí podle různých kritérií a nejdůležitějším z nich je způsob vzniku horniny. Podle tohoto pohledu jsou horniny tvořící zemskou kůru děleny na vyvřelé (vulkanické, magmatické), usazené (sedimentární) a přeměněné (metamorfované). Způsob vzniku také ovlivňuje i jejich vlastnosti včetně trvanlivosti. [4]

Kámen se v současné době převážně těží povrchovým způsobem v tzv. kamenolomech. Hlubinným způsobem se u nás dobývá pouze břidlice. Následným a postupným opracováním kamene vznikají základní typy kamenických výrobků, které lze rozdělit na čtyři hlavní typy: [6]

- **lomový kámen** (přírodní kámen jakéhokoli tvaru a velikosti, používaný do zdiva s hrubou nebo opracovanou lícovou stranou a pokud je kámen upraven do mnohoúhelníku, používá se na tzv. kyklopské zdivo);
- **kopáky** (výrobky určité velikosti a tvaru vyráběné lámáním, štípáním nebo hrubým kamenickým opracováním; podle tvaru se dělí na běhouny a vazáky);
- **haklíky** (kámen se čtvercovou nebo obdelníkovou lící plochou určený pouze pro obkladové (nenosné) zdivo);
- **kvádry** (výrobky různých tvarů, rozměrů s různou povrchovou úpravou, které se používají jako konstrukční a architektonické prvky na vodních, železničních a pozemních stavbách).

Dále mezi kamenické výrobky řadíme také obrubníky, krajníky, mezníky, dlažební kostky, obkladové a dlažební desky, řemínkový obklad, schodišťové stupně a drobnou zahradnickou architekturu. [6]

3. Historické malty

Maltoviny byly během historie stavebnictví používány k mnoha různým účelům. Jejich cílem bylo konstruování objektu (zdiva) nebo ochrana či výzdoba již dokončených konstrukčních prvků (kladení pochozích ploch, obkládání zdiva, nanášení exteriérových a interiérových omítek). Z užitného hlediska lze malty dělit podle různých kritérií, například podle místa použití (interiér, exteriér), typu aplikace (zdící, spárovací), funkce (estetické, izolační, sanační), barevnosti nebo podle počtu vrstev, ale i jinak. Na základě jejich praktického stavebního využití, typu aplikace rozeznáváme: [4]

- malty zdící;
- malty podlahové;
- malty spárovací;
- malty pro omítání.

3.1. Zdící malty

Zdící malty sloužily převážně ke spojování jiných stavebních materiálů, hlavně cihel nebo kamenných bloků. Tyto malty můžeme označit jako silikátové materiály s velmi dlouhou stavební historií. Jejich hlavní funkcí bylo zpevnit zdivo. Proto se materiálové požadavky omezovaly jen na tuto vlastnost, tedy na pevnost v tlaku. K přípravě zdících malt bývaly používány místní suroviny, které byly dostupné v dané geografické lokalitě. Jako kamenivo se používal převážně křemenný písek o různé zrnitosti, málokdy se používal písek hrubozrný. Naopak velice často tento písek obsahoval velké množství nečistot (zejména jílových minerálů). Pojiva byla volena, pokud možno taková, aby co nejlépe spojila jednotlivé stavební prvky (kámen, cihly) a současně odolávala nepříznivému počasí. Z toho důvodu se do těchto malt přidávaly látky s hydraulickými vlastnostmi, které umožňovaly tuhnutí a tvrdnutí v podmínkách se zvýšenou vlhkostí. Povaha a složení hydraulických příměsí do zdících malt byla různá. Hlavní roli zde hrály zkušenosti a znalosti stavitelů získané od předchozích generací, které zahrnovaly postupy zdění i materiály k tomu používané. Například ve středověku, kdy Italové nebo Němci přidávali do malty klasické přírodní pucolány (sopečný popel), se na našem území využíval popel ze spáleného dřeva (dřevní popel). [4]

3.2. Podlahové malty

Nutnost přípravy podlahových malt (podlahovin), vyplynula z potřeby upravit terén v bezprostředním okolí budov pro snadnější přístup zvenčí a také pro zpříjemnění pobytu uvnitř staveb. K úpravě venkovního terénu v nejstarších dobách sloužil pouze lomový kámen, drcený do různé velikostní frakce. Hrubozrný kámen (štěrk) byl navezen přímo na určenou zeminu nebo do předem vyhloubených prostor potřebných rozměrů. Prostory mezi šterkovými zrny byly vyplněny drobnými kamínky a pískem. Později byly k tomuto účelu volené maltoviny. Pro zastřešené části se používaly jílové malty vyztužované rohožemi z rostlinných vláken. Obdobně jako pro zdění byly používané hrubozrné,

barevně neupravované malty s přísadami hydraulických pojiv. Jejich pevnost, schopnost vyrovnávat zátěž, a tudíž trvanlivost mohla být upravována rohožemi na bázi vláknitých látek (dlouhá rostlinná nebo živočišná vlákna). Pro hrubou přípravu podloží k pokládce pevnějších a ozdobných podlahových materiálů (kamenné desky, keramické dlaždice, cihelné bloky aj.) byly využívány malty podobné těm podlahovým, ale nevyztužené. [4]

3.3. Spárovací malty

V případě míchání spárovacích malt, kterými byly utěšňovány prohlubně vzniklé při zdění, byly také používány hmoty podobné maltám zdicím nebo podlahovým. Požadavky na exteriérové spárovací malty, sloužící jako výplně mezer mezi obkladovými a podlahovými hmotami, byly odlišné, jelikož se uplatňovaly ve venkovních prostorech staveb. Z toho důvodu se kladl důraz jak na estetickou stránku, tak hlavně na vysokou mechanickou a chemickou odolnost. Spárovací malty byly obvykle jemnozrnější, přidávalo se prané kamenivo. K pigmentaci se používaly železité hlinky, cihelná moučka a také dřevní popel, a to tehdy, bylo-li nutné sjednotit zabarvení malty s obkladem nebo podlahovinou. [4]

3.4. Malty pro omítání

Malty pro omítání pokrývaly historicky rané stavby, za účelem chránit zdivo před povětrnostními vlivy, a tím zabránit snadné destrukci zdiva. Původně snad omítky vznikly roztíráním zdicím nebo spárovací malty po povrchu zdiva, a to z důvodu vyrovnání výškových rozdílů mezi jednotlivými pevnými stavebními hmotami. Ze začátku byly jednovrstvé, roztírané a přitlačované k povrchu zdiva různými nástroji. Takto vytvořené omítky se jevily jako členité a nerovné. Z toho důvodu se zdokonalovaly zednické pomůcky, aby se dosáhlo co nejrovnějšího a nejhladšího povrchu. Začaly se objevovat omítky vícevrstvé a hlazené. Jelikož plochy omítaného zdiva byly poměrně velké a hlavně viditelné, začaly se tyto partie umělecky upravovat (modelačně i barevně). Podle typu použitého pojiva můžeme malty rozdělit na: [4]

- **vápenné** (na historických objektech našeho území jsou nejrozšířenějším typem malt a jedná se o vzdušné maltoviny);

- **vápenocementové** (od zavedení výroby cementu se staly nepoužívanějšími nastavovanými maltami a používají se pro všechny účely např. jako malty zdící, štukové, omítkové, spárovací; obsahují cca 10 % cementu);
- **vápenosádrové** (nejčastěji používané k omítání interiérů; rychlejší nárůst pevnosti a vyšší konečná tvrdost oproti vápenným maltám);
- **sádrové** (používají se pro omítání a štukovou výzdobu v interiérech);
- **cementové** (v oblasti památkové péče se cementové malty prakticky nepoužívají, ale přesto se s nimi můžeme setkat na historických objektech při druhotných výprávkách poškozené omítky či kamene);
- **hlíněné** (používaly se pro spojování a později také pro omítání nepálených cihel, kamene a dřeva).

4. Románský cement

Románské cementy patří do skupiny přírodních hydraulických pojiv, které se začaly vyrábět v 19. století jako alternativa ke klasickým stavebním materiálům – kameni, cihlám, sádře. Slovo přírodní (naturální) označuje, že tato pojiva byla připravována pálením přírodních surovin, které měly optimální složení vzhledem k hydraulickým vlastnostem výsledné maltoviny. Nejedná se tedy o starověké pojivo, tzv. římské cementy, které se sice také vyznačovaly hydraulickými vlastnostmi, avšak těch bylo docíleno přidavkem hydraulických přísad převážně sopečného původu – tuffů, trassu, hlín nebo puzzolánů. [25]

Široké použití románských cementů se odvíjelo od jejich jedinečných vlastností, které byly dány charakteristickým složením suroviny a postupem jeho výroby. Materiál se vyznačoval rychlou dobou tuhnutí, srovnatelnou např. se sádrou, která umožňovala jednoduchou a rychlou produkci odlitků a dekorativních prvků fasád i solitérních prvků. [25]

Při uplatnění v architektuře hrála důležitou roli i pro tento materiál charakteristická příjemná okrová až hnědá barva malt, která imitovala kamenný vzhled a mohla se na fasádách uplatňovat bez povrchové úpravy a barevně doplňovat ostatní stavební materiály (typická je např. kombinace s cihlou). Vedle těchto vlastností se malty vyznačovaly vysokou tvrdostí, pevností a houževnatostí, což umožňovalo jejich použití v exteriéru pro omítky, zdící malty, tažené profily, ale také doplňky stavebních objektů (doplňky kamenných částí, plastik, architektonických prvků). [25]

4.1. Historie románského cementu

Románský cement byl poprvé patentován v roce 1796 Jamesem Parkem v Anglii, který objevil, že pálením silně znečištěných vápenných útvarů, tzv. vápencových hlíz, druhohorního stáří lze vyrobit hydraulickou maltovinu, která tuhne i pod vodou. Tento cement byl původně pojmenován jako tzv. Parkerův cement, postupně se však rozšířil do celé Evropy pod pojmem románský nebo římský cement, neboť svými vlastnostmi připomínal jedinečné vlastnosti cementu starých Římanů. [11]

V průběhu 19. století pokračovaly experimenty s výrobou nejen v Anglii, ale románský cement se rozšířil postupně do celé Evropy. První cementárny na románský cement vznikaly již od počátku 19. století ve Velké Británii, Francii, později se výroba rozšířila do Německa a dále na východ na území Rakousko-Uherské monarchie. Románský cement byl na trh dodáván pod různými názvy, které většinou odpovídaly názvu lokality, ze které byl cement připraven, popř. jméno jeho objevitele. Například v Londýně se v roce 1810 vyráběl románský cement pod názvem „Atkinson cement“, nebo např. „ciment grenobloi“ či „Ciment Prompt“ označoval románský cement pálený z vápenců z okolí Grenoble ve Francii. [9]

Na území Čech a Moravy se výroba románského cementu objevila teprve v 70. letech 19. století, i když na území Rakousko-Uherské monarchie vznikly první cementárny již ve 40. letech v Rakousku a jsou spojovány se jménem Franze Kinka. Ten v roce 1842 založil v Kufsteinu v Tyrolsku první cementárnu na románský cement, Cementkalk, jenž byl distribuován po celé monarchii. [12] Tento produkt, pro který se vžil název „Kufstein“, vynikal svojí kvalitou, za kterou byl následně oceněn řadou medailí a diplomů na evropské úrovni. Masová výroba románského cementu však nastala až v poslední třetině 19. století, kdy se románský cement stal favoritem mezi stavebními materiály. [9]

Na počátku 20. století byl románský cement postupně vytlačován cementem portlandským, jehož výroba byla ve srovnání s románským cementem snazší a nevyžadovala neustálou jakostní kontrolu. Také nástup funkcionalistického stylu v architektuře, který směřoval k tvarové jednoduchosti, se na tomto úpadku podepsal. Poslední továrna na výrobu románského cementu v Tlumačově zanikla v roce 1945. [12]

4.2. Výroba románského cementu

Románské cementy jsou přírodní pojiva, jejichž přirozeně hydraulické vlastnosti jsou dány složením suroviny a podmínkami výpalu. Surovinou je vápenec, který obsahuje 15-40 % jílových minerálů, jež jsou zdrojem oxidu křemičitého, hlinitého a železitého. Jejich výpalem dochází ke vzniku cementových fází, které mají po semletí hydraulické vlastnosti. [10] Charakteristické okrové až červeno-hnědé zbarvení dává románskému cementu oxid železitý. Složení suroviny pro výrobu románského cementu je stejné jako u suroviny, která se využívá při přípravě portlandského cementu. Zásadní rozdíl však spočívá v podmínkách výpalu. Románské cementy se pálí pod tzv. teplotou slinutí (tj. cca 1400 °C), při které v portlandském cementu vzniká tzv. cementářský slínek. Teploty výpalu románských cementů se pohybují ve stejném teplotním intervalu, ve kterém se pálí bílé vzdušné vápno (800–1200 °C). Přesné podmínky výpalu závisí od složení výchozí suroviny a podmínkách kalcinace. Po výpalu se vypálený kámen mele na jemný prášek, který při styku s vodou velmi rychle reaguje za vzniku hydratovaných fází, tzv. gelu, který dává materiálu výjimečné vlastnosti. [9]

Pro hodnocení možného použití vápenců při výrobě cementů byl v roce 1905 zaveden tzv. cementační index (CI). Při výpočtu cementačního indexu se počítá se všemi oxidy, které se v surovině vyskytují. Fázové (mineralogické) složení románských cementů se velmi liší v závislosti na podmínkách výpalu a složení vstupní suroviny. Dle autora Eckelse byly pro výrobu románských cementů vhodné suroviny s CI nacházejícím se v intervalu 1,00–2,00. [10]

$$CI = (2.8 \times SiO_2 + 1.1 \times Al_2O_3 + 0.7 \times Fe_2O_3) / (CaO + 1.4 \times MgO)$$

4.3. Tuhnutí a tvrdnutí malt z románského cementu

Jako ostatní hydraulické maltoviny, románské cementy tuhnou a tvrdnou pouze v přítomnosti vody. Minerální fáze přítomné v cementech reagují s vodou za vzniku hydratovaných fází. Nejdříve reagují velmi drobné krystalické nebo amorfni fáze. V románských cementech jsou to především hlinitanové složky nebo minerály, které vznikají rozkladem vápence při výpalu, popř. se může též jednat o vysoce reaktivní tepelně rozložené jílové minerály obsažené v surovině. Jejich hydratací vznikají hydratované hlinitany vápenaté s různou stechiometrií (viz tabulka 1). [7]

Tabulka 1: Hydratované fáze románských cementů – hlinitany vápenaté o různém složení způsobují u malt rychlé počáteční tuhnutí a vysokou počáteční pevnost [7]

Hydratované fáze ¹	Složení	¹ Poznámka:
$C_4A \bar{C}_{0.5}H_{12}$	$2[Ca_2Al(OH)_6] \cdot 0.5CO_3 \cdot OH \cdot 5.5H_2O$	C = CaO \bar{C} = CO ₂
C_4AH_{13}	$2[Ca_2Al(OH)_6] \cdot 2OH \cdot 6H_2O$	A = Al ₂ O ₃
$C_4A \bar{C}H_{11}$	$2[Ca_2Al(OH)_6] \cdot CO_3 \cdot 11H_2O$	H = H ₂ O

Tyto reakce jsou zodpovědné za rychlé počáteční tuhnutí cementů, které se většinou odehrává během několika minut. V pozdější fázi, při tvrdnutí, je nejdůležitější reakcí hydratace belitu – dikalcium silikátu. Jeho reakcí s vodou vzniká C-S-H gel (C-CaO, S-SiO₂, H-H₂O). Tato reakce a vznik C-S-H gelu probíhá od počátku, avšak teprve s postupem času (po tzv. době spánku) začne tato reakce převládat a zásadně ovlivňovat vlastnosti malt – pevnost, mikrostrukturu, poróznost. [7]

Popsaný hydratační mechanismus určoval základní vlastnosti malt z románských cementů – rychlé tuhnutí, vysoká počáteční pevnost malt a odlitků, které umožňovaly rychlou a ekonomicky nenáročnou produkci dekorativních prvků pro fasády budov; na druhé straně vysoká finální pevnost a vysoká poróznost, díky kterým mají historické malty dodnes vysokou trvanlivost a odolnost vůči působení atmosférických podmínek. [7]

4.4. Vlastnosti románského cementu

Předností tohoto materiálu je velmi krátká doba tuhnutí (cca 15 minut), přičemž záleží na poměru míchaného materiálu, a především teplotních podmínkách. Barevný odstín (žluto-hnědý) a textura románského cementu odpovídá historickým materiálům a zajišťuje kompatibilitu s původními materiály. Taktéž je univerzálně použitelným materiálem pro výrobu celé řady fasádních prvků, od ornamentních odlitků po hladké plochy. Vzhledem k nízkému modulu smrštění se může zpracovávat ve značných tloušťkách. Vysoká pevnost a poróznost zajišťuje efektivní transport vody a vodní páry a z toho důvodu má výbornou odolnost vůči mrazu. Románské cementy jsou také dobře odolné proti chloridům, které se mohou do zdiva dostávat zejména z posypových solí. Jak už bylo výše zmíněno, vzhledem k rychlému tuhnutí se také zvyšuje efektivita práce. A z toho důvodu se použití tohoto materiálu rozšířilo nejen na fasády, štuky, restaurátorství (sloupy, klenby,

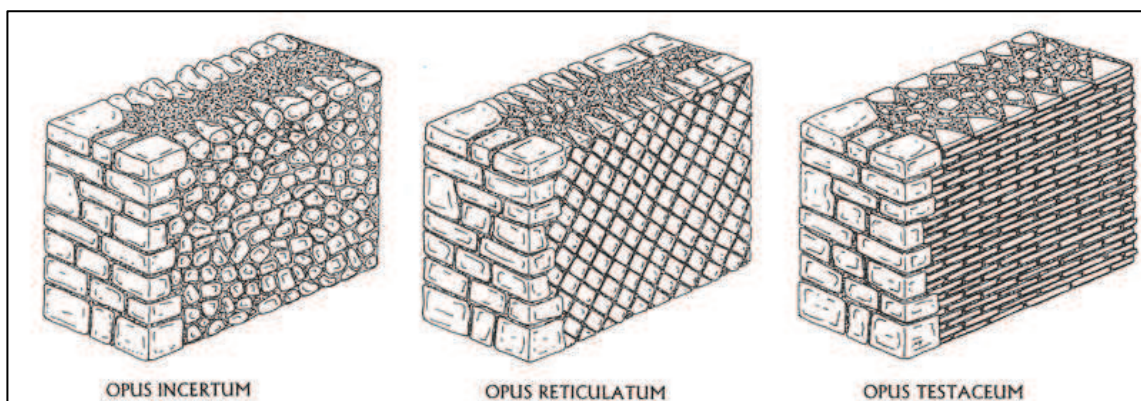
římky) a výrobu uměleckých předmětů a soch, ale také k výrobě prefabrikovaných prvků, zábradlí, kanalizace atd. [7]

5. Historické zdivo

Na našem území byly zděné stavby importem především ze západu a jihu. Místní zdroje a sociální postavení stavebníků ovlivnily způsob provedení zděných konstrukcí. Pojivem byla především vápenná malta, popřípadě hliněná malta s větší nebo menší příměsí vápna nebo se zdilo nasucho. Z výše uvedených historických materiálů se stavěly zdiva kamenné z tesaného nebo lomového kamene, cihelné nebo smíšené. [26]

Technologie zdění se v průběhu let vyvíjela, a proto každé období mělo své charakteristické rysy zdění. Románská technologie zdění byla velice rozmanitá a charakteristickým prvkem byly široké stěny z tesaného kamene. Také se zde můžeme setkat s tzv. římským zděním, který využíval omítání jen zřídka. Mezi římské způsoby zdění řadíme i tzv. zdivo „opus isodomum“, což je skládané kvádrové zdivo na pravidelně prostřídané spáry. Tento způsob byl však velmi nákladný proto se s ním můžeme setkat pouze u monumentálních staveb. [3]

Běžněji používané zdivo bylo zdění z kamene, kdy se používal způsob zvaný „opus incertum“. U tohoto zdění bylo nejprve vytvořeno bednění v tloušťce budoucí zdi, do něhož se dusal neopracovaný lomový kámen různých velikostí smíchaný s maltou. Po vytvrnutí se bednění odstranilo a povrch se dále nijak neupravoval. Problematická tvorba bednění byla nahrazena zděnými líci vyzděných z kvádrů o pravidelné vazbě a vzniklý prostor se vyplnil drobnějším lomovým kamenem a zalil maltou. Snaha, nahradit pracné kvádrové líce jiným druhem zdiva, jehož povrch by nebylo nutný omítat, vedly ke vzniku tzv. síťové vazby „opus reticulatum“, z níž se později odvodila i vazba klasová tzv. „opus spicatum“. Tyto vazby se používaly jak při zdění z lomového kamene, tak i na dlažby z kamene či cihel. Na obrázku 1 můžeme vidět některé zmiňované typy zdiva. [3]



Obrázek 1: Způsoby římského zdění používané v románské architektuře [3]

Oproti románskému neomítanému zdivu bylo gotické zdivo velkolepější a zdobenější. Kromě zdobných prvků bylo gotické zdivo v zásadě vždy zevnitř omítané a pokryté malbami. Nejvýraznějším a charakteristickým rysem gotiky je lomený oblouk, z něhož vychází i křížová klenba. [19] Postupem času staveb z kamene ubývá a přibývá staveb omítaných a zděných z cihel, kdy kámen se používal pouze na ostění oken a portálů nebo nárožní armování. Tyto znaky jsou typické pro renesanční období. Setkáme se zde s valenou klenbou, neckovou klenbou s lunetami nebo také s českou hřebínkovou klenbou, která vznikla vytažením hran lunet. [20] V barokní architektuře byla hlavním stavebním materiálem cihla a omítání barevnými omítkami bylo již běžné. Nově se objevuje barevný umělý mramor a štukové omítky. [26]

V současné době trh nabízí spoustu nových stavebních materiálů a výrobků, kde záleží pouze na nás, pro co se rozhodneme.

PRAKTICKÁ ČÁST – odborná stáž

Praktická část byla provedena na zámku v Náměšti nad Oslavou nedaleko města Třebíče. Na začátku června zde začaly restaurátorské práce, které měly za úkol co nejvíce zachovat původní kámen (pískovec) a vrátit zámku jeho původní vzhled. Restaurátorské práce se týkaly zámeckého nádvoří, arkád a arkýře u vstupní brány. Nádvoří je čtvercového půdorysu, z něhož dvě strany jsou postavené z pískovce. Konkrétně severní a východní část nádvoří. Letos proběhly restaurátorské práce severní strany fasády a arkád. Příští rok se dočká obnovení i východní část fasády, včetně mramorového portálu na jižní straně.

6. Historie zámku Náměšť nad Oslavou

Přesný letopočet založení hradu v Náměšti nad Oslavou není znám, ale lze jej datovat kolem roku 1220. První písemná zmínka je z roku 1234, kdy byl hrad osídlen pány z Lomnice. Dalšími majiteli hradu byli v letech 1399–1437 pánové z Kravař a následně v roce 1464 se hrad opět vrátil do vlastnictví rodu pánů z Lomnice. Po roce 1583 dědí náměšťské panství Jan Diviš ze Žerotína a z Náměšti se stává středisko kulturního a společenského života. Právě rod Žerotínů se zasloužil o přestavbu náměšťského hradu na renesanční zámek. V roce 1949 byl zámek částečně zpřístupněn veřejnosti a v jeho sálech byla instalována unikátní kolekce tapisérií. V roce 2001 byl zámek prohlášen Národní kulturní památkou a od 1. ledna 2003 je ve správě Národního památkového ústavu. Na obrázku 2 můžeme vidět současný vzhled zámku. [27]



Obrázek 2: Pohled na severní průčelí zámku Náměšť nad Oslavou [28]

Významná je sochařská výzdoba zámku, konkrétně pak sochy Neptuna na studni, výzdoba arkád v nádvoří zámku (obr. 3), či pískovcové schodiště, které zdobí vstup do zámku. Autorství je v tomto případě nejčastěji připisováno italskému sochaři Giorgio Gialdhiemu. [27]



Obrázek 3: Výzdoba východní části fasády zámku na nádvoří

7. Restaurátorské práce na zámku Náměšť nad Oslavou

Postup prací při restaurování arkád na severní fasádě se dá rozdělit na následující etapy:

- čištění a odsekávání poškozených částí fasády;
- zpevňování a hydrofobizace kamene;
- injektování a lepení zachovalých částí pískovce;
- doplňování umělým kamenem;
- konečné úpravy fasády.

7.1. Čištění a odsekávání poškozených částí fasády

Začátkem června letošního roku započaly restaurátorské práce na severní fasádě zámku. Jakmile bylo nainstalováno lešení, mohlo se začít s prvotními hrubými pracemi, jako jsou demontáž parapetů, či odstranění mečů, ptačího trusu a znečištění fasád pomocí horkovodních parních čističů a bio chemie. Následně se mohlo začít s odsekáváním poškozeného pískovce na „zdravé jádro“. Pomocí kladívka a sochařského dláta se hledala dutá místa poklepovou akustickou metodou nebo také místa, která se na první pohled zdála poškozená a dala se lehce odloupnout prstem, nebo se drolila (obr. 4). Dále se vysekal veškeré spáry mezi jednotlivými segmenty oblouků a reliéfů. Vlivem sedání, jednotlivých částí pískovcových oblouků, docházelo k tlakovému namáhání dvou kvádrů umístěných nad sebou, které následně vedlo k porušení (rozdrčení) rohů těchto kvádrů. Z důvodu zamezení dalšího porušení těchto hran nebo opětovného porušení nově vyspravených rohů, jednotlivé spáry se prořezaly bruskou. Jelikož měly arkády tři patra, trvaly tyto práce několik týdnů.



Obrázek 4: Osekaná část pískovce na pevný podklad (zdravé jádro kamene)

Při odsekávání kamene může docházet k ulomení větších částí pískovce. Tyto části mohou být neporušené a zcela „zdravé“, proto se snažíme tyto kusy zachovat a následně znovu použít. K poškození kamene dochází působením povětrnostních vlivů na konstrukci. Mezi tyto vlivy zahrnujeme zejména kyselý dešť, vlhkost, působení solí (vzlínajících z půdy sírany, chloridy vnikající do konstrukce inertním materiálem anebo v případě dusičnanů, importovaných do konstrukce i ptačím trusem). Na odstranění poškozeného a časem zvětřelého pískovce se používají speciální sochařské dláta s ozuby, které můžeme vidět na obrázku 5 a 6 (kamenický čtyřzub, pětizub) dále kamenická dláta bez ozubů, kladívka, paličky s gumovou hlavou, štětce, drátěné kartáče a jiné.



Obrázek 5: kamenické
dláto [22]



Obrázek 6: Kamenický
pětizub [22]

7.2. Zpevňování a hydrofobizace kamene

Jakmile je povrch fasády očištěn, odsekán a zbaven veškerých nežádoucích poškození a nečistot, tak se na závěr povrch očistí od prachu a drobných částí, pomocí vzduchového vysavače, který je opatřen oboustranným chodem tzn., že je schopen vysávat i vyfukovat. Takto připravený povrch se začal zpevňovat pomocí přípravku značky Remmers. Konkrétně byly použity tři druhy zpevňovačů a to KSE 100, KSE 300 a KSE 500 E. Tyto zpevňovače jsou na bázi etylesteru kyseliny křemičité (KSE) bez obsahu rozpouštědel a každý z nich má jiné množství vyloučeného gelu tzn., že zpevňovač při tuhnutí reaguje s kapilární vodou a vzdušnou vlhkostí. Při reakci se tvoří čistě minerální, amorfni gel, který nahrazuje a doplňuje degradované pojivo. Toto pojivo se poškodilo (ztratilo) zvětráváním a zlepšuje soudržnost kamene. Průběh reakce závisí zejména na teplotě a vzdušné vlhkosti.

Zpevňovač KSE 100 byl používán na přírodní pískovcové povrchy mírně porušené a zvětralé, konkrétně mírně porušené reliéfy. Přípravek se přelil do stříčky a táhlými pohyby rukou se rovnoměrně nanášel na porušený povrch reliéfu, vždy ve třech vrstvách. Než se začal provádět další nástřik, bylo nutné ponechat dostatečně dlouhou dobu na vsáknutí přípravku do pískovce. Pokud se při posledním, třetím nástřiku, přípravek již nevsakoval do kamene, znamenalo to, že kámen je již dostatečně nasycen zpevňovačem a ztékající kapky je nutné stírat houbičkou, aby nedošlo po zaschnutí přípravku ke vzniku nežádoucích skvrn. Množství vyloučeného křemičitého gelu je cca 100 g/l (10 %).

Zpevňovač KSE 300 byl používán nejčastěji. Používal se na rozsáhleji porušený a zvětralý pórovitý povrch pískovce, zejména na římsy, hlavice, pilíře a patky sloupů, oblouky a také parapety. Aplikace přípravku je stejná jako u předešlého zpevňovače KSE 100. Množství vyloučeného křemičitého gelu je cca 300 g/l (30 %).

Jako poslední zpevňovač byl používán KSE 500 E, v jehož případě se jedná o elastifikovaný zpevňovač kamene. Jeho vlastnosti se od ostatních zpevňovačů odlišují mírným růstem modulu pružnosti a dostatečně velkým zpevněním struktury kamene. Množství vyloučeného gelu je cca 500 g/l (50 %). Aplikace je opět stejná jak u předešlých dvou zpevňovačů. Nevýhodou tohoto zpevňovače je, že může docházet k zabarvení (ztmavení) původního kamene, a proto se někdy doporučuje používat méně nástřiků. Na zámku se KSE 500 E použil pouze na zpevnění reliéfu na arkýři (obr. 7).



Obrázek 7: Poškozený reliéf působením klimatických podmínek na arkýři, zpevňovaný kyselinou křemičitou KSE 500 E

Před zpevněním prvního patra arkád (tedy jen u podpírajících sloupů a oblouků) bylo nutné tuto část nejdříve hydrofobizovat, aby nedocházelo ke vztlínání vlhkosti a vodorozpuštěných solí do konstrukce.

Nejprve se odebraly ze sloupů vzorky pískovce ke zjištění obsahu solí v kameni. Jelikož výsledky zkoušek prokázaly výskyt síranu a chloridů v pískovci, provedly se odsolovací zábaly pomocí buničiny a demineralizované vody. Jednotlivé paty sloupů u arkád se nastříkaly demineralizovanou vodou a nato se nalepila buničina v několika vrstvách (obr. 8). Poté se takto nasáklá buničina omotala PE fólií. Po vysušení se tento postup opakoval ještě dvakrát



Obrázek 8: Odsolovací zábal pomoci demineralizované vody a buničiny u paty sloupů arkád

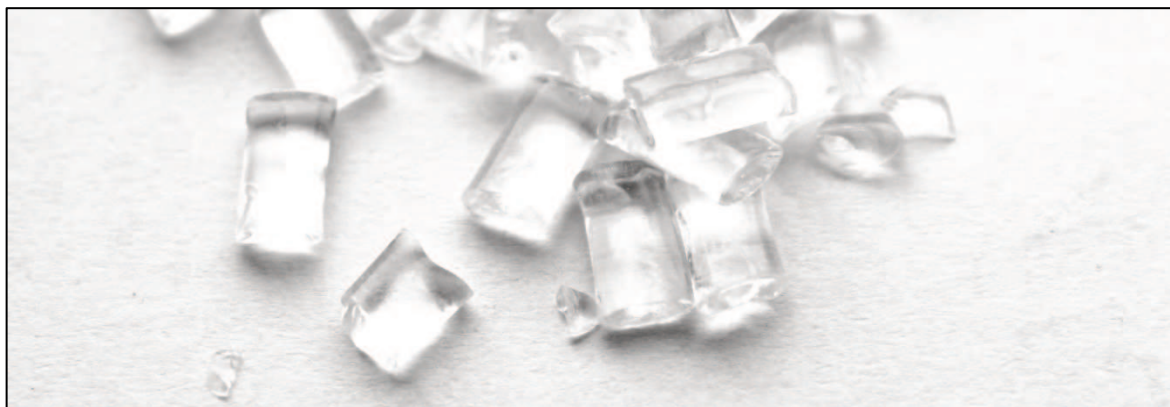
Pro hydrofobizaci kamene se používal přípravek Funcosil AS rovněž od firmy Remmers. Funcosil AS je impregnační prostředek na fasády. Jedná se o vysoce účinnou kombinaci akrylátu a siloxanu. Aplikace tohoto přípravku se prováděla obdobně jako zpevňování, ale pouze ve dvou vrstvách.

Po aplikaci hydrofobizačního nátřiku se podle předpisu zajistila týdenní technologická přestávka a po aplikaci zpevňovacího nátřiku dvoutýdenní technologická přestávka.

7.3. Injektování a lepení zachovalých částí pískovce

Jak už bylo výše zmíněno, při odsekávání poškozeného kamene může docházet k odseknutí, větších i malých kusu, které ovšem můžeme znovu použít do původní konstrukce. Pomocí dvousložkových lepidel Akemi, které se používalo na přilepení drobných kousků kamene, se tyto části vrátily na svá původní místa. Tmel Akemi je na bázi polyesterových pryskyřic, který je pomocí tužidla, schopen ve velmi krátké době vytvrdnout a zajistit dobré mechanické vlastnosti. Tento výrobek byl použit pouze na malé a svislé plochy, vzhledem k jeho vysoké ceně. Na větší a vodorovné plochy se používala obyčejná suchá lepidla na přírodní kámen. Po smíchání s vodou se namíchala vhodná konzistence a převážně se tato lepidla používala na lepení parapetů.

Po nalepení všech zachovalých částí kamene se začalo s injektováním veškerých trhlin na fasádě. Pomocí injekčních stříkaček se do trhlin vpravoval injektážní materiál, konkrétně Paraloid B72, který v kombinaci s pigmenty vytváří hmotu, která se svým zbarvením podobá původnímu kameni. Paraloid je akrylátová pryskyřice na bázi kopolymerů etylmetakrylátu, která se s pomocí toluenu (rozpouštědla) používá na injektování povrchů (obr. 9).



Obrázek 9: Akrylátová pryskyřice ve formě granulí (Paraloid) se pomocí rozpouštědla mění ve vodný roztok různé koncentrace [21]

Injektáž probíhala poměrně dlouhou dobu, déle než bylo plánováno v časovém harmonogramu prací, jelikož poškození pískovcové fasády bylo větší, než se očekávalo. Injektážní materiál se vpravoval do trhlin a spár tak dlouho, dokud na povrchu trhliny nevznikl povlak, který již naznačoval, že trhlina je nasycena a uzavřena.

Jak už bylo výše zmíněno, injektážní hmota se namíchala pomocí granulovaného paraloidu, který se rozpustil v toluenu. Koncentrace roztoku se volí podle nasákavosti povrchů. Roztok se dále obarvil pigmentem (obr. 10), aby se docílilo zakrytí trhlin v barvě pískovce, jelikož neobarvený roztok po zaschnutí vytvoří lesklý povrch a trhliny by se musely zamaskovat jiným způsobem.



Obrázek 10: Injektování trhlín nad reliéfem pomocí Paraloidu, který je obarven pigmentem

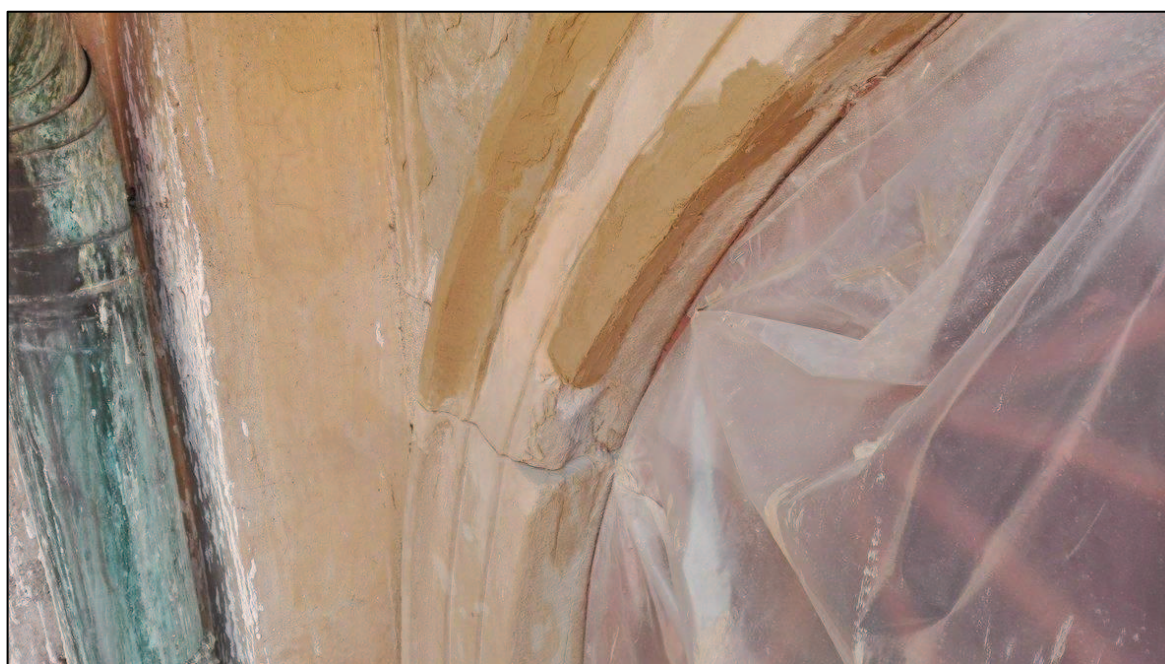
7.4. Doplnování umělým kamenem

Jakmile byly plochy zpevněny, zainjektovány, mohlo se přejít k samotnému doplňování kamene, a tím k vytváření „nového“ vzhledu fasády. Před započítím těchto prací, zejména tam, kde se měla nanášet tlustá vrstva umělého kamene, bylo nutné provést vyztužení (armaturu) pomocí ocelových šroubů, které se do místa navrtaly. Armatury mohou být různé, od ocelových šroubů po armatury vyrobené podle potřebného tvaru z ocelových drátků. Poté se může začít s doplňováním. Připravil se materiál, konkrétně se smíchal Betofix (materiál podobný vlastnostmi románskému cementu) s pískem a pigmenty. Písek a Betofix se míchal v poměru 1:1. Připravily se tři odstíny, přibližně podle barvy pískovce na fasádě. Namíchaná suchá směs se smíchala s vodou do vhodné konzistence (spíše tužší než řídká) a pořádně se promíchala. Podklad se před nanášením směsi navlhčil a pomocí sochařské špachtle se nanášel na kámen. Pokud se doplňovala tlustší vrstva, nikdy se nenanášela najednou, vždy postupně. Nanesená vrstva směsi se nechala zatuhnout (obr. 11) a před nanášením další vrstvy se musela seškrábat pomocí kousku pilky na železo. Tak se docílila drsnější struktura zaschlé směsi, a tím i lepší soudržnost vrstev mezi sebou.



Obrázek 11: Doplňování oblouku Betofixem na severní fasádě nádvoří

Různými pomůckami, ať už špachtlí, pilkou, dřevěnou tyčkou, se docílilo požadovaného tvaru. Při aplikaci si bylo nutné hlídat veškeré hrany původní části konstrukce (obr. 12), které sloužily jako vodítko k zachycení přesného tvaru, výšky a šířky určité plochy. Také kombinací různých odstínů směsí se snáze docílilo toho efektu, že nahrazené části umělým kamenem, byly po zaschnutí k nepoznání.



Obrázek 12: Postupné nanášení směsi a tvarování oblouku do původní podoby

Tímto způsobem se vyspravila (doplnila) celá severní fasáda nádvoří zámku. Jednalo se o doplnění říms, jak můžeme vidět na obrázcích 13 a 14, oblouků a sloupů (arkád) a také parapetů. Jelikož se parapety po doplnění oplechují, nemusely být důkladně vystiženy barevné kombinace pískovce.



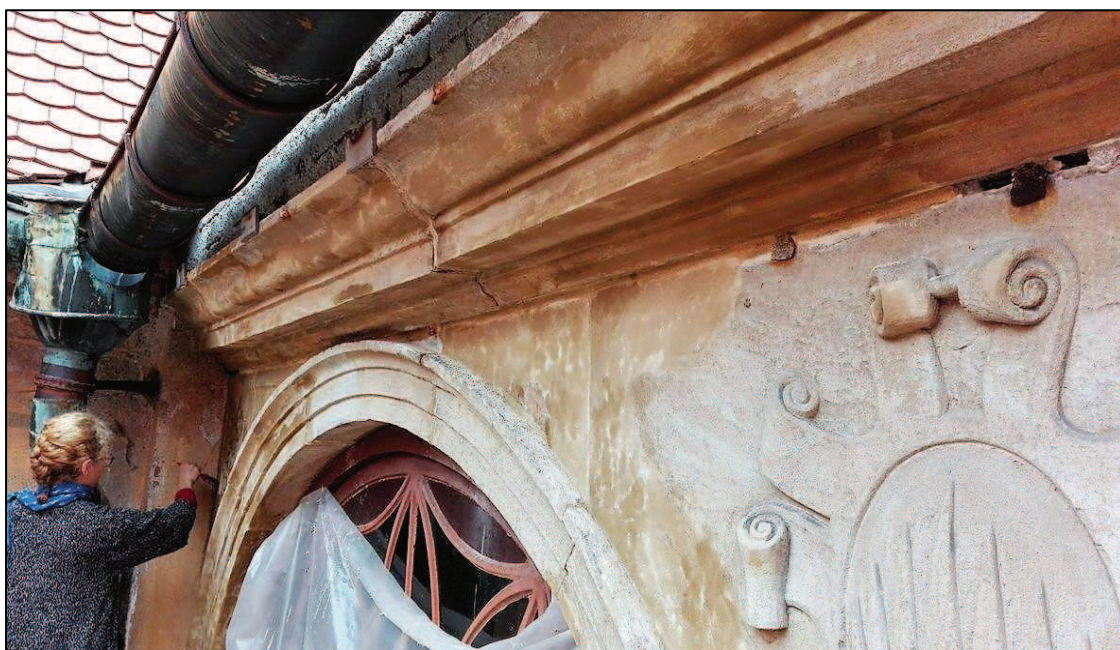
Obrázek 13: Doplňování říms nejvyššího patra arkád (hlavní římsa)



Obrázek 14: Doplněna římsa do původní podoby

7.5. Konečné úpravy fasády

Během doplňování celé fasády se také musely vyplnit veškeré spáry. Pro vyspárování mezer se použil materiál s větším zrnem kameniva než při samotném doplňování. Po zaschnutí doplňovacího materiálu mohly také vzniknout na povrchu světlejší nebo naopak tmavší skvrny. V takovém případě se pro zakrytí těchto map na fasádě použila čistá voda s rozmíchaným pigmentem a pomocí drobných pohybů štětcem se tyto místa zakryly. Většinou se usiluje o zakrytí přechodu nově naneseného umělého kamene a původního. Na obrázku 15 lze vidět mokré skvrny právě od nanesené vody s pigmentem. Na závěr se celá fasáda přestříká ochranným paropropustným nástřikem.



Obrázek 15: Nanášení vody s pigmentem pomocí štětce k zakrytí viditelných map po zaschlém doplňovacím materiálu

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část je zaměřena na přípravu vzorků z materiálů, které se používají jak při restaurování (kamene, štuky nebo omítek), tak u běžného zdění. Dále jsou zkoumány fyzikálně mechanické vlastnosti jednotlivých materiálů, konkrétně zjišťování pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu po 2, 7, 14 a 28 dnech, mrazuvzdornost, určení začátku a konce tuhnutí, obsahu vzduchu a přídržnosti k povrchu. Taktéž je testování zaměřeno na působení povětrnostních vlivů na vzorky z románského cementu, u nichž probíhalo ošetřování po různě dlouhou dobu. Závěrem experimentální části je vyhodnocení a porovnání výsledků jednotlivých materiálů a také zhodnocení vhodnosti aplikace románského cementu při restaurování.

8. Příprava zkušebních vzorků z románského cementu, vápna a portlandského cementu

8.1. Zkušební vzorky z románského cementu (Remmers a Vicat)

8.1.1. Remmers

Zkušební vzorky se připravily z navržené receptury podle výrobce, kdy se smíchala již připravená směs románského cementu Remmers, normového křemičitého písku a vody. Na těchto vzorcích se následně po vytvrdnutí po 3, 7, 14 a 28 dnech provedla zkouška pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku. Dále byla provedena zkouška mrazuvzdornosti na 50 zmrazovacích cyklů, stanovení počátku a konce tuhnutí, stanovení obsahu vzduchu a přídržnosti k povrchu. Také se zjistila objemová hmotnost čerstvé a zatvrdlé směsi.

Tabulka 2: Receptura románského cementu Remmers dle výrobce

	Románský cement + normový křemičitý písek	Voda
Remmers	1,6 kg	0,24 l

Z této receptury se namíchalo 5 forem, které obsahovaly 3 zkušební vzorky trámečků o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Na těchto zkušebních vzorcích se provedly již výše

zmíněné zkoušky. Výsledky jednotlivých zkoušek budou uvedeny v následujících kapitolách.

8.1.2. Vicat

Jednotlivé vzorky se opět připravily podle receptury danou výrobcem, kdy se navážilo požadované množství normového křemičitého písku, románského cementu Vicat, zpomalovače tuhnutí na bázi kyseliny citronové (Tempa) a vody. Z čerstvé směsi se namíchalo 5 forem trámečků, na kterých se poté odzkoušely pevnosti v tahu za ohybu a tlaku po 3, 7, 14 a 28 dnech a stanovila se mrazuvzdornost. Opět se stanovil počátek a konec tuhnutí, obsah vzduchu, zjistila se objemová hmotnost čerstvé i zatvrdlé směsi a stanovila se přídržnost k podkladu. Výsledky jednotlivých zkoušek budou uvedeny v následujících kapitolách.

Tabulka 3: Receptura románského cementu Vicat dle výrobce

	Románský cement	Normový křemičitý písek	Voda	Tempo
Vicat	1 l	1 l	0,3 - 0,5 l	7 g

8.2. Zkušební vzorky z vápna

Vápenné vzorky se připravily z navržené receptury v poměru 1:3 (1 složka vápna ku 3 složkám normovaného křemičitého písku), které se smíchaly s vodou. Na vápenné vzorky byl použit vápenný hydrát (hašené vápno). Z uvedené receptury, se namíchalo 5 forem, což je 15 ks zkušebních trámečků, na kterých se provedly jednotlivé zkoušky, a to konkrétně pevnost v tahu za ohybu a tlaku po 3, 7, 14 a 28 dnech a také se stanovila mrazuvzdornost. Během míchání se stanovila objemová hmotnost čerstvé malty a obsah vzduchu ve směsi. Na ztvrdlých trámečcích se stanovila objemová hmotnost. Na závěr se provedla zkouška přídržnosti k podkladu.

Tabulka 4: Receptura vápenné malty

	Vápno (hašený hydrát)	Normový křemičitý písek	Voda
Vápenná malta	500 g	1500 g	450 ml

8.3. Zkušební vzorky z portlandského cementu

Vzorky z portlandského cementu byly připraveny z normové receptury v poměru 1:3 (1složka cementu ku 3 složkám normového křemičitého písku). Na výrobu vzorků se použil cement s označením CEM 42,5 a normový křemičitý písek s frakcí 0-2 mm. Na zkušebních vzorcích se po vytvrdnutí provedly následující zkoušky – stanovení pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu po 3, 7, 14 a 28 dnech. Dále zkouška mrazuvzdornosti a přídržnosti k povrchu a stanovila se objemová hmotnost. U čerstvé malty se stanovil počátek a konec tuhnutí a obsah vzduchu.

Tabulka 5: receptura cementové malty

	Portlandský cement CEM 42,5	Normový křemičitý písek	Voda
Cementová malta	450 g	1350 g	225 g

9. Popis prováděných zkoušek na zkušebních vzorcích

9.1. Stanovení počátku a konce tuhnutí

Stanovení dob tuhnutí se provádí pomocí Vicatova přístroje, který je opatřen ocelovou jehlou, pro stanovení počátku tuhnutí nebo ocelovou jehlou a kruhovým nástavcem, kterým se stanovuje konec doby tuhnutí malt. Tato zkouška byla provedena dle normy ČSN EN 196-3.

9.1.1. Stanovení počátku tuhnutí

Vicatův přístroj se nastaví do nulové polohy, tzn., hrot jehly se spustí na podkladní skleněnou destičku a stupnice se vynuluje. Následně se jehla zvedne a zkušební směs se naplní do Vicatova prstence a zarovná se povrch. Naplněný prstenec, umístěný na skleněné destičce, se vloží do nádoby a doplní se vodou tak, aby povrch byl minimálně 5 mm pod hladinou vody. Takto připravený vzorek se uloží do prostředí s kontrolovatelnou teplotou 20 ± 1 °C. Po určité době se naplněný Vicatův prstenec vloží do zkušebního přístroje a jehla se zajistí v takové poloze, aby se hrotem dotýkala povrchu zkušební malty (1 až 2 s). Po uvolnění aretačního šroubu jehla začne vnikat do zkušební směsi. Hloubka vniknutí se odečte nejpozději do 30 s. [13], [23]

Vzdálenost mezi hrotem jehly a skleněnou destičkou je hledaná hodnota. Dále se musí zaznamenat uplynulá doba vsypání cementu (vápna) do míchačky, jedná se o tzv. nulový čas. Počátek doby tuhnutí se testuje na stejném vzorku např. po 10 minutách na vhodných místech (vzdálenost min. 8 mm od okraje prstence, jednotlivé vpichy 5 mm od sebe a min. 10 mm od posledního vpichu). Počátkem tuhnutí se rozumí doba, která uplyne od vsypání cementu do míchačky (nulový čas) až do okamžiku, kdy vzdálenost mezi jehlou a destičkou činí 6 ± 3 mm. Tato doba se uvádí s přesností na 5 minut. [13], [23]

9.1.2. Stanovení konce tuhnutí

Po stanovení zkoušky počátku tuhnutí se Vicatův prstenec na skleněné destičce otočí a znovu se uloží do prostředí s kontrolovanou teplotou 20 ± 1 °C. Zároveň se také vymění část zkušebního zařízení, která vniká do zkušební směsi, konkrétně se ocelová jehla vymění za jehlu s kruhovým nástavcem. Po určité době se naplněný prstenec se skleněnou destičkou a nádobkou s vodou vloží do zkušebního přístroje a jehla s kruhovým nástavcem se zajistí v takové poloze, aby se hrot jehly dotýkal povrchu zkušební směsi (1 až 2 s). Jehla začne pomalu vnikat do zkušební směsi. Po uvolnění aretačního šroubu, jehla s kruhovým nástavcem vnikne do směsi a opět se změří hloubka vniknutí nejpozději do 30 s. [13], [23]

Vpichy jehly s kruhovým nástavcem se opakují na různých místech v časovém intervalu např. 30 minut. Po každém vpichu se jehla ihned očistí. Zaznamená se čas, kdy jehla poprvé vnikla pouze 0,5 mm do malty s dobou, která uplynula od nulového času. Koncem tuhnutí je pak doba, kdy kruhový nástavec jehly nezanechal kružnicový obrys na

povrchu tvrdnoucí malty. Potvrzení konce tuhnutí musí být provedeno dvěma dalšími vpichy na dvou různých místech. [13], [23]

9.2. Stanovení konzistence

Podstatou zkoušky je stanovení hodnoty rozlití malty, která se získá ze dvou na sebe kolmých měření. Tato zkouška bude provedena dle normy ČSN EN 1015-3.

Zkušební zařízení podle normy je střešací stolek, dále kovový kužel o výšce $60 \pm 0,5$ mm, vnitřním průměru $100 \pm 0,05$ mm ve spodní části a s vnitřním průměru $70 \pm 0,5$ mm v horní části. Také se používá dusadlo kruhového průřezu, které je většinou z nenasákavého materiálu a měřidlo. [14], [23]

Než se začne zjišťovat konzistence čerstvé malty, musí se deska střešacího stolku a veškeré komponenty kovového kužele včetně dusadla očistit vlhkou tkaninou, aby nedocházelo k odebírání vody z čerstvé malty. Kovový kužel umístíme do středu desky střešacího stolku a naplní se maltou ve dvou vrstvách. Každá vrstva se zhutní 10 údery dusadla. Přebytková malta se zarovná s horním okrajem kovového kužele a volná plocha desky se očistí. Opatrně zvedáme kužel kolmo nahoru a malta se na desce střešacího stolku rozlije 15 nárazy s konstantní frekvencí jeden zdvih za sekundu. Poté se průměr rozlité malty změří ve dvou na sebe kolmých směrech pomocí měřidla. Výsledek se udává v mm s přesností na 1 mm. [14], [23]

Zkouška se provádí na dvou zkušebních vzorcích. Liší-li se jednotlivé hodnoty rozlití od jejich průměrné hodnoty o více než 10 %, provádí se zkouška znovu. Výsledkem je průměrná hodnota rozlití v mm zaokrouhlená na 5 mm. [14], [23]

9.3. Stanovení obsahu vzduchu

Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě se provádí obdobně jako u betonu. Malta se do předepsané tlakové nádoby naplní až po horní okraj a přikryje se víkem. Přes otvory ve víku se na povrch čerstvé malty přivede voda. Tlakový vzduch a voda působí na vzduch obsažený v pórech čerstvé malty. Hladina vody poklesne a charakterizuje objem vzduchu, který je vytlačený z malty. Tato zkouška bude provedena podle normy ČSN EN 1015-7.

Zkušební zařízení pro stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě je kovová nádoba o objemu cca 1 litr, která je spojena s kovovým víkem, k němuž je připojena vzduchová

komora (tlaková komora) a tlakoměr pro měření vyvinutého tlaku vzduchu. Dále se také používá dusadlo, které je z nenasákavého materiálu o průměru 40 mm. [15], [23]

Zkušební směs čerstvé malty se naplní po horní okraj nádoby ve čtyřech vrstvách, kdy se každá vrstva zhutní 10 údery dusadlem a povrch se zarovná. Na nádobu se osadí kovové víko, které je opatřeno svorkami, zajišťující lepší přidrženost víka k nádobě. Vyrovnávací ventil mezi vzduchovou komorou a nádobou se uzavře. Prostor pod víkem a nad maltou se naplní vodou, dokud se všechen vzduch nad povrchem malty nevytlačí. To se pozná tak, že druhým ventilem začne vytékat voda. Pomocí ručního čerpadla se do vzduchové komory natlačí vzduch k dosažení stejného tlaku, jaký byl použit při kalibrační zkoušce. Oba ventily se uzavřou a otevře se vyrovnávací ventil mezi vzduchovou komorou a nádobou. Jakmile se dosáhne rovnovážného stavu, odečte se z kalibrovaného tlakoměru obsah vzduchu. [15], [23]

Odečtená hodnota se zaznamená s přesností na 0,1 %. Obsah vzduchu se vypočte jako průměrná hodnota ze dvou hodnot měření zkušební malty a zaokrouhlí se na 0,5 %. Liší-li se dva jednotlivé výsledky od jejich průměrné hodnoty o více než 10 %, zkouška se opakuje na dalších dvou vzorcích zkušební malty. Průměr se vypočítá znovu z jednotlivých výsledků zkoušky nových vzorků. [15], [23]

9.4. Pevnost v tahu za ohybu

Pevnosti malt v tahu za ohybu se stanovují tříbodovým zatěžováním, zkušebních trámečků ze zatvrdlé malty, do jejich porušení. Vždy se tato pevnost stanovuje minimálně na třech zkušebních tělesech. Tato zkouška bude provedena dle normy ČSN EN 1015-11.

Zkušební trámečky se vyhotoví z navržené receptury tak, že se zkušební směs plní do formy, která je opatřena odformovacím nátěrem. Z jedné formy, jsme schopni vyhotovit 3 zkušební trámečky o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Formy se plní ve dvou stejných vrstvách. Jednotlivé vrstvy se zhutní pomocí vibračního stolku. Přebytná malta se zarovná s horní hranou formy, na zarovnaný povrch se položí sklíčko a takto připravená forma se zkušebními vzorky se uloží do vlhkého prostředí. Takto se ukládají formy čerstvých směsí, které jsou připravené z hydraulických pojiv. Formy obsahující čerstvou směs ze vzdušných pojiv se nechají vytvrdnout na vzduchu v laboratorních podmínkách. [16], [23]

Po odformování se zkušební vzorky nechaly „zrát“ ve vlhkostní skříni po dobu 3, 7, 14 a 28 dní, kromě vzorků připravených z malty vápenné. Ty se nechaly zrát na vzduchu v laboratorních podmínkách. Po uplynutí požadované doby se u jednotlivých zkušebních trámečků zjistí rozměry a hmotnost zkušebních vzorků. Po zjištění těchto údajů se trámečky umístí do lisu a odzkouší se pevnost na tzv. třibodový ohyb. Zatěžovací rychlost lisu na trámečky je 100 N/s a provádí se, až do porušení trámečků tzn., zkušební trámeček se rozdělí na dvě poloviny. Každá část trámečku se následně zkouší na tlak.

Pevnost v tahu za ohybu (třibodovém) R_f v N/mm^2 se vypočítá ze vztahu (1):

$$R_f = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (1)$$

kde:

R_f je pevnost v tahu za ohybu [MPa];

F je maximální zatížení při porušení [N];

l je vzdálenost mezi podpěrnými válečky [mm];

b, h jsou rozměry zkušebního tělesa v příčném řezu [mm].

Pro každé zkušební těleso se uvede výsledek s přesností 0,05 N/mm^2 a průměrná hodnota se vypočítá s přesností na 0,1 N/mm^2 . [16]

9.5. Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku zkušebních trámečků se stanovuje, jak už jsem výše uvedla, na jednotlivých částech zkušebních těles, které vznikly po odzkoušení trámečků na pevnost v tahu za ohybu. Každá polovina se vložila do lisu, kde byla následně rovnoměrně zatížená tlakem. Zkušební vzorky se do lisu umísťují vždy kolmo na směr plnění. Stejně jako pevnost v tahu za ohybu i tato zkouška bude provedena podle normy ČSN EN 1015-11.

Pevnost v tlaku R_m v N/mm^2 se stanoví ze vztahu (2):

$$R_m = \frac{F}{A} \quad (2)$$

kde:

R_m je pevnost v tlaku [MPa];

F je maximální zatěžovací síla při porušení [N];

A je zkoušená plocha [mm²].

Pro každé zkušební těleso se uvede výsledek s přesností 0,05 N/mm² a průměrná hodnota se vypočítá s přesností na 0,1 N/mm² [16]

9.6. Přidržnost k povrchu

Stanovení přidržnosti ztvrdlé malty k podkladu se vyjadřuje jako maximální napětí v tahu, které je vyvozené působením zatížení kolmo na povrch malty nanesené na podklad. Tahové zatížení se odvozuje prostřednictvím odtrhového zkušebního zařízení (Coming) a tuhého odtrhového terče z oceli, přilepeného na zkušební plochu povrchu malty. Průměr terče je 50 ± 1 mm a výška minimálně 10 mm. Tato zkouška bude provedena dle normy ČSN EN 1015-12.

Jako podklad se použily cihly plné pálené o rozměrech 60 x 135 x 290 mm, na které se nanesly jednotlivé malty (cementová, vápenná a malty z románského cementu). Malta se nanese v tloušťce přibližně 10 ± 1 mm. Takto připravený vzorek se zabalí do PE fólie a ponechá po dobu 7 dnů v laboratorních podmínkách při teplotě 25,1 °C a vlhkosti 62,9 %. Poté se zkušební vzorky odbalí a nechají dozrát na vzduchu. [17], [23]

Do připravené ztvrdlé malty se nalepily terče pomocí speciálního 2 - složkového lepidla na bázi epoxidové pryskyřice a po dobu 7 dnů se nechalo lepidlo vytvrdnout. Po vytvrzení lepidla se pomocí brusného kotouče prořezala malta do tvaru osmistěnu až na podklad (cihlu) a provedly se odtrhy na jednotlivých maltách pomocí odtrhového zařízení. [17], [23]

Přidržnost R_{fu} v [MPa] se vyjádří, podobně jako u pevnosti v tlaku ze vztahu (3):

$$R_{fu} = \frac{F}{A} \quad (3)$$

kde:

R_{fu} je přidržnost k povrchu v [MPa];

F je zatížení v [N];

A je zkoušená plocha v [mm²].

Výsledkem je průměrná hodnota ze všech platných měření, která se uvede s přesností na 0,1 N/mm². [17]

9.7. Mrazuvzdornost

Mrazuvzdornost malty se zkouší střídavým zmrazováním a rozmrazováním zkušebních těles nasycených vodou. Toto zkoušení se provádí buď na požadovaný počet zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů nebo jako stanovení stupně mrazuvzdornosti. U obou případů se zjišťuje míra poškození zkušebních těles. Tato zkouška bude provedena podle normy ČSN 72 2452.

Při zkoušce mrazuvzdornosti se provádí:

1. Stanovení vizuální změny a změny hmotnosti ztvrdlé malty
2. Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlé malty
3. Stanovení pevnosti ztvrdlé malty v tahu za ohybu
4. Stanovení součinitele mrazuvzdornosti ztvrdlé malty

Při zkoušce mrazuvzdornosti se připraví dvě sady zkušebních trámečků o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Dvě sady činí 3 vzorky referenční a 3 vzorky zkušební (vzorky na cyklování). U zkušebních těles se před zmrazováním zjistí rozměry a hmotnost a vypočítá se jejich objemová hmotnost. Tělesa se nasytí vodou po dobu 24 hodin ve vodní lázni tak, aby hladina byla cca 3 cm nad horní hranou zkušebního vzorku. Po nasycení se ihned vkládají do mrazáku a začíná první cyklus zmrazování. [18], [23]

Zmrazování a rozmrazování zkušebních trámečků se provádí v tzv. zmrazovacích cyklech. Jeden zmrazovací cyklus se skládá z minimálně 4 hodin zmrazování při teplotě – 20 °C ± 3 °C a přibližně 2 hodin rozmrazování. Zkušební tělesa se po ukončení určitého počtu zmrazovacích cyklů zváží, změří se jejich rozměry a stanoví se objemová hmotnost. Tato sada trámečků se po ukončení zmrazovacích cyklů zkouší na pevnost v tahu za ohybu. Zkouška se musí provést nejpozději 30 minut po ukončení cyklů. Během zmrazování se zkušební tělesa pozorují a zaznamenávají se veškeré vzniklé poruchy. Referenční sada těles se zkouší na tah v ohybu při začátku zmrazovací etapy. Kdežto zkušební sada těles až po uplynutí určitého počtu zmrazovacích cyklů. [18], [23]

Zkouška mrazuvzdornosti se ukončí, buď po ukončení předepsaného počtu zmrazovacích cyklů; po ukončení zmrazovací etapy, při které byl zaznamenán pokles pevnosti v tahu za ohybu větší než 25 % oproti pevnosti v tahu za ohybu referenční sady

vzorků anebo může být tento proces také ukončen, pokud dojde k výraznému porušení (rozpadnutí) zkušebních těles. [18], [23]

Jako výsledek zkoušky se pro daný počet zmrazovacích cyklů a po ukončení zmrazování uvedou:

- zjištěné úbytky hmotnosti zkušebních trámečků v procentech hmotnosti;
- pevnosti zkušebních těles v tahu za ohybu a zpravidla i také pevnosti v tlaku zjištěné na úlomcích trámečků (jak u zkušebních, tak u referenčních těles);
- součinitel mrazuvzdornosti malty.

Součinitel mrazuvzdornosti malty je poměr aritmetického průměru hodnot pevnosti v tahu za ohybu zmrazovaných trámečků k aritmetickému průměru hodnot pevnosti v tahu za ohybu referenční vzorků. Malty se považují za mrazuvzdorné na daný počet zmrazovacích cyklů, při kterých úbytek pevnosti zmrazovacích vzorků oproti pevnostem referenčních vzorků není větší než 25 % pevnosti referenčních vzorků. [18]

10. Výsledné hodnoty zkušebních vzorků z jednotlivých materiálů

Jak už bylo výše zmíněno, na zkušebních tělesech různých materiálů (románský cement, portlandský cement, vápno) byly provedeny jednotlivé zkoušky, viz kapitola 9. Tyto zkoušky byly provedené podle norem. Vyhodnocení a porovnání výsledků jednotlivých zkoušek nalezneme v této kapitole. Naměřené hodnoty všech zkušebních těles nalezneme v příloze č. 1.

10.1. Stanovení počátku a konce tuhnutí

Na začátku stanovování tuhnutí bylo nejdůležitější zvolit vhodné množství vody (vodního součinitele), které se smíchalo s 500 g pojiva tak, aby se dala stanovit normální hustota čerstvé směsi. Po namíchání čerstvé směsi se nejpozději do 4 minut od nalití vody do pojiva musel Vicatův prstenec naplnit a hustoměrný váleček musel zůstat min. 4 mm od skleněné podložky. Jakmile byl tento požadavek splněn, mohlo se přejít k samotnému měření počátku tuhnutí. Hustoměrný váleček se vyměnil za jehlu a měřila se doba počátku tuhnutí. Počátek tuhnutí začíná, pokud jehla zůstane 4 mm nad skleněnou podložkou. Vicatův prstenec se otočí a vymění se jehla za jehlu válcového tvaru (obr. 16). Konec

tuhnutí se měří do doby, kdy válcový otlak již nezůstává na povrchu směsi. Zaznamenaný čas se počítá od přimíchání vody k pojivu.



Obrázek 16: Stanovení konce tuhnutí u románského cementu Vicat bez zpomalovače tuhnutí Tempa

V tabulce 6 nalezneme naměřené hodnoty počátku a konce tuhnutí čerstvé směsi při normální hustotě. Zajímavostí bylo zjištění, že románský cement Vicat po přidání zpomalovače tuhnutí Tempa, na bázi kyseliny citrónové začal tuhnout výrazně později oproti deklarovaným hodnotám výrobce. Výrobce uvádí, že při 20 °C po přidání zpomalovače Tempa začne čerstvá směs tuhnout po 15 minutách. V laboratorních podmínkách při teplotě 22,1 °C a 35,4 % vlhkosti, začala čerstvá směs po přidání 4 g zpomalovače Tempa tuhnout až po 190 minutách (přes 3 hodiny). Naopak bez tohoto zpomalovače tuhne čerstvá směs velice rychle, do 7 minut nastává počátek tuhnutí a o půl minuty později již jehla s kruhovým nástavcem nezanechala žádný otisk, tudíž nastal konec tuhnutí. Další odlišností od ostatních malt byl fakt, že po vyjmutí ztvrdlé malty z prstence, probíhala v maltě zřejmě exotermní reakce, kdy se začalo uvolňovat teplo, jelikož ztvrdlý kus malty byl na dotek teplý.

Tabulka 6: Naměřené hodnoty počátku a konce tuhnutí u zkušebních malt

	Počátek tuhnutí				Konec tuhnutí [min]
	Cement [g]	Voda [g]	Hloubka propadu [mm]	Čas [min]	
Románský cement (Remmers)	500	70	4	210	255
Románský cement (Vicat) bez Tempa	500	181	6	7	7,5
Románský cement (Vicat) s Tempem	500	182	4	190	315
Cementová malta	500	126	5	185	-

10.2. Stanovení konzistence

Konzistence se stanovila pomocí střešacího stolku, kdy se podle uvedených receptur namíchala čerstvá směs malty. Tato zkouška byla provedena dle normy ČSN EN 1015-3 viz kapitola 9.2. Výsledná hodnota rozlití se vyjádřila jako aritmetický průměr dvou hodnot. Naměřené hodnoty rozlití nalezneme v tabulce 7 a na obrázku 17 nalezneme zkušební maltu románského cementu Remmers, připravenou v kovovém kuželu na provedení zkoušky rozlití. Receptura byla namíchána podle výrobce, kde hodnota rozlití činila 183 mm. Vesměs všechny zkušební malty měly podobnou konzistenci, kromě malty vápenné, kdy tato směs byla tužší a hodnota rozlití činila 132,5 mm.

Tabulka 7: Naměřené hodnoty zkušebních malt pomocí střešacího stolku

Konzistence malt			
Románský cement (Remmers)	Románský cement (Vicat)	Cementová malta	Vápenná malta
183 mm	182,5 mm	184 mm	132,5 mm



Obrázek 17: Stanovení konzistence zkušební malty Remmers pomocí strásacího stolku

10.3. Stanovení obsahu vzduchu

Čerstvá malta se nalila do nádoby o známém objemu 1 litr, až po horní okraj. Nasadilo se víko, které se pomocí svorek připevnilo k nádobě. Poté se uzavřel vyrovnávací ventil a prostor mezi maltou a víkem se vyplnil vodou. Pomocí ručního čerpadla se do komory natlačil vzduch. Otevřel se vyrovnávací ventil a z tlakoměru se odečetla hodnota vzduchu ve zkušební maltě, jak můžeme vidět na obrázku 18.



Obrázek 18: Stanovení obsahu vzduchu čerstvé malty Remmers

Tabulka 8: Naměřené hodnoty vzduchu ve zkušebních maltách

Obsah vzduchu malt			
Románský cement (Remmers)	Románský cement (Vicat)	Cementová malta	Vápenná malta
8,5 %	4,0 %	5,0 %	3,5 %

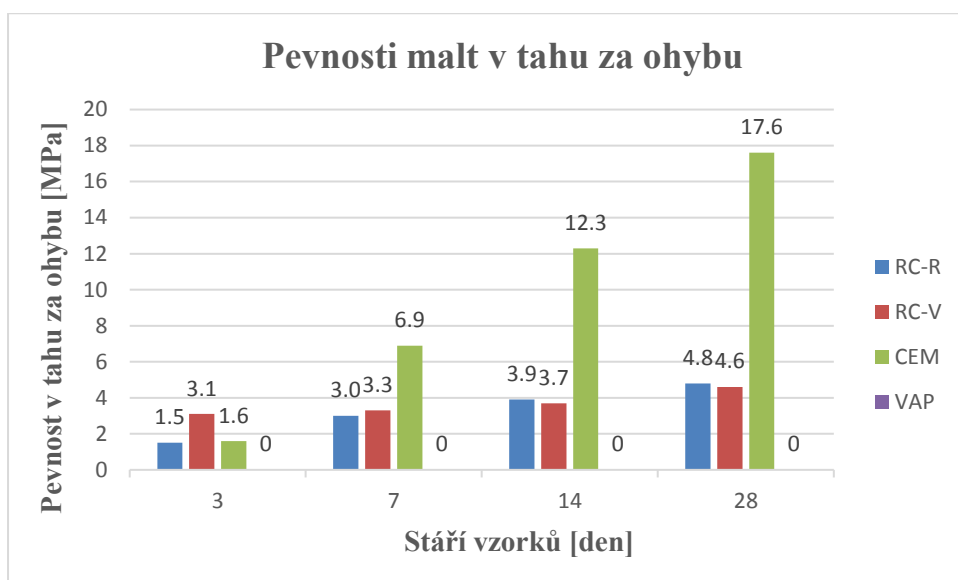
Největší zastoupení vzduchu v čerstvé maltě měl románský cement Remmers, kde hodnota dosahovala až 8,5 %. Takto vysoké zastoupení vzduchu v maltě může být zapříčiněno tím, že hydraulické pojivo je již smícháno s kamenivem a dalšími chemickými provzdušňovacími přísadami. U ostatních zkušebních malt se obsah vzduchu pohyboval kolem 4 %.

10.4. Pevnost v tahu za ohybu

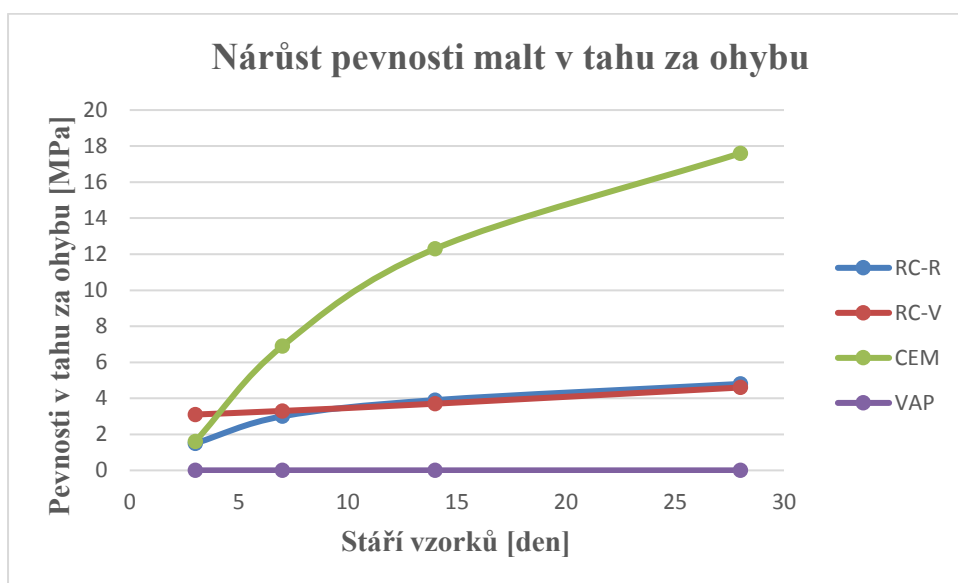
Pevnost v tahu byla pro každý materiál stanovována na 3 zkušebních trámcích. V tabulce 9 nalezneme vypočítané pevnosti jednotlivých materiálů. Jednotlivé pevnosti byly odzkoušené po určité zkušební době, konkrétně pro stáří vzorků 3, 7, 14 a 28 dnů.

Tabulka 9: Vypočítané hodnoty pevností v tahu za ohybu zkušebních malt

Pevnosti v tahu za ohybu malt [MPa]				
Stáří vzorků [den]	3	7	14	28
Románský cement (Remmers)	1,5	3,0	3,9	4,8
Románský cement (Vicat)	3,1	3,3	3,7	4,6
Cementová malta	1,6	6,9	12,3	17,6
Vápenná malta	0	0	0	0



Obrázek 19: Pevnosti malt v tahu za ohybu zkušebních těles jednotlivých materiálů (RC-R – románský cement Remmers; RC-V – románský cement Vicat; CEM – cementová malta; VAP – vápenná malta)



Obrázek 20: Znázornění nárůstu pevnosti zkušebních těles v tahu za ohybu po 3, 7, 14 a 28 dnech (RC-R – románský cement Remmers; RC-V – románský cement Vicat; CEM – cementová malta; VAP – vápenná malta)

Podle obrázků č. 19 a 20 lze vyčíst, že u vzorků z vápenné malty (VAP) nebylo možné změřit pevnosti v tahu za ohybu. Takto nízké (nulové) pevnosti byly pravděpodobně způsobeny stářím vápenného hydrátu, který byl použit na zkušební tělesa. Na již otevřený pytel vápenného hydrátu (hašeného vápna) působila vzdušná vlhkost spolu s oxidem

uhličitým CO_2 a tak pomalu docházelo k částečné přeměně hydroxidu vápenatého ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) na uhličitan vápenatý (CaCO_3). Z tohoto důvodu byla směs vápenné malty po třech dnech tuhnutí na omak měkká a nedala se dále zkoušet. S přibývajícím časem vápenné vzorky ztvrdly, nicméně pevnosti v tahu za ohybu byly tak nízké, že je zkušební lis ani nezaznamenal. Na obrázku 21 lze vidět zkoušení pevnosti v tahu za ohybu pomocí lisu. Konkrétně je na tomto obrázku zkoušena malta z románského cementu Remmers.



Obrázek 21: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu tzv. tříbodovým ohybem

Největší nárůst pevnosti při nejkratší době tří dnů, vykazoval románský cement Vicat, kdy jeho hodnota pevnosti v tahu za ohybu činila $R_f = 3,1$ MPa. Takto vysoké počáteční pevnosti mohou zajišťovat u Vicatu hlinitany vápenaté. U cementové malty a u románského cementu Remmers byly hodnoty pevnosti v tahu za ohybu po tutéž dobu na podobné úrovni, $R_f = 1,6$ MPa u cementové malty a $R_f = 1,5$ MPa u románského cementu Remmers. Postupem času až do 28 dní pevnosti, výrazný nárůst nastal u cementové malty, kde konečná pevnost nabyla hodnoty $R_f = 17,6$ MPa. U obou románských cementů se hodnoty srovnaly a nárůst pevnosti již nebyl tak markantní.

10.5. Pevnosti v tlaku

Jak už bylo výše zmíněno u pevnosti v tahu za ohybu, tak i v tlaku byly stanovené a odzkoušené pevnosti na 3 zkušebních tělesech. Výsledky této zkoušky nalezneme v tabulce 10.

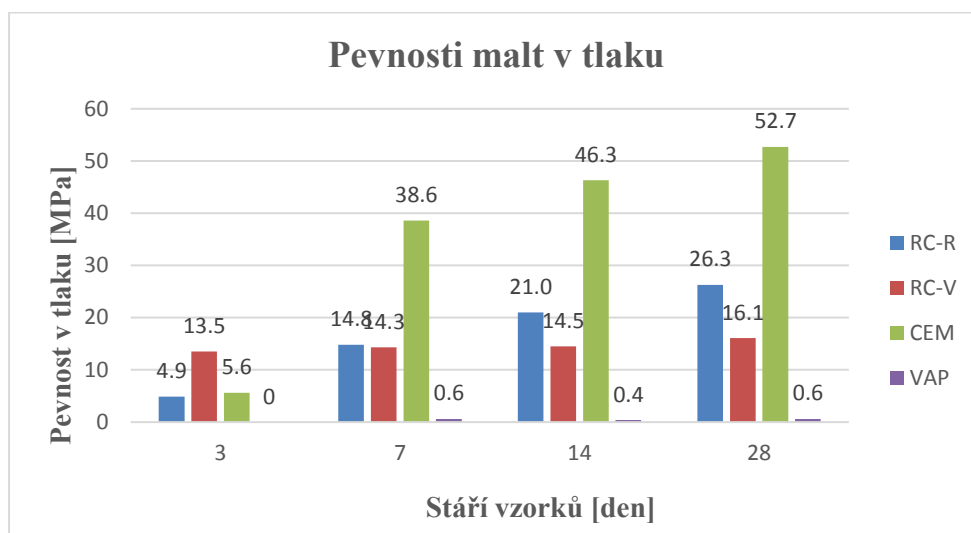
Tabulka 10: Vypočítané hodnoty pevností v tlaku u zkušebních malt

Pevnosti v tlaku malt [MPa]				
Stáří vzorků [den]	3	7	14	28
Románský cement (Remmers)	4,9	14,8	21,0	26,3
Románský cement (Vicat)	13,5	14,3	14,5	16,1
Cementová malta	5,6	38,6	46,3	52,7
Vápenná malta	0	0,6	0,4	0,6

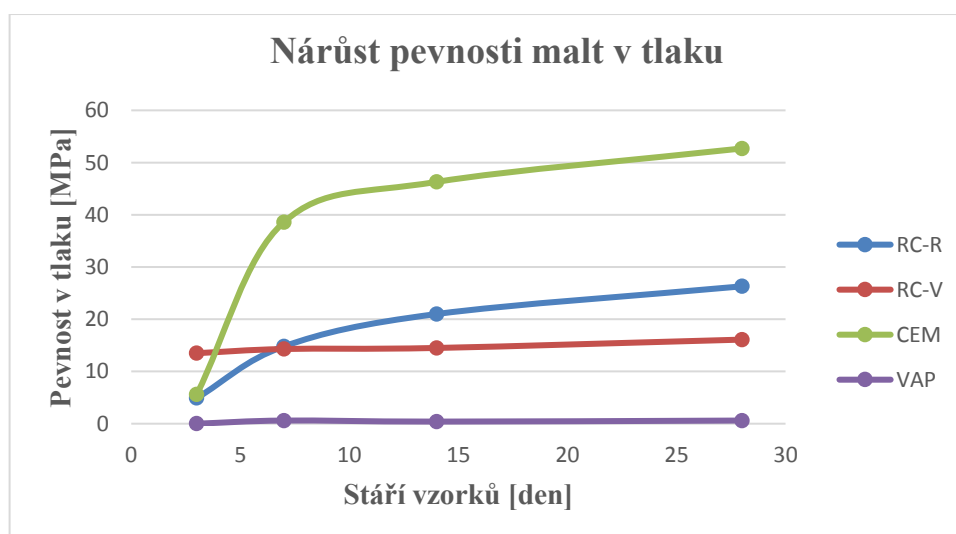


Obrázek 22: Stanovení pevnosti v tlaku vápenných vzorků

Z výsledných hodnot pevnosti v tlaku jednotlivých vzorků lze jednoznačně určit, který materiál nejméně odolává pevnosti v tlaku. Na obrázku 22 je vzorek vápenné malty, odzkoušený na tlak. Z obrázku je již patrné, že vápenné vzorky se lehce rozpadají. Oproti ostatním vzorkům se tyto vzorky zkoušely s jinou zatěžovací rychlostí, kdy se na lisu změnilo nastavení této rychlosti na 50 N/s. Při rychlosti 100 N/s se odzkoušely ostatní cementové malty.



Obrázek 23: Pevnosti zkušebních malt jednotlivých materiálů v tlaku (RC-R – románský cement Remmers; RC-V – románský cement Vicat; CEM – cementová malta; VAP – vápenná malta)



Obrázek 24: Znázornění nárůstu pevností zkušebních těles v tlaku po 3, 7, 14 a 28 dnech (RC-R – románský cement Remmers; RC-V – románský cement Vicat; CEM – cementová malta; VAP – vápenná malta)

Obrázky 23 a 24 zřetelně ukazují, že nejvyšší počáteční pevnost má opět románský cement Vicat (RC-V), kde se tato pevnost po 3 dnech pohybuje kolem 13,5 MPa. Pevnosti románského cementu Remmers (RC-R) a portlandského cementu (CEM) se po 3 dnech

pohybují ve stejné úrovni, a to konkrétně pro RC-R 4,9 MPa a pro CEM 5,6 MPa. Nejnížší pevnosti vykazuje opět vápenná malta (VAP). Dále můžeme z grafu vyčíst, že po uplynutí několika dní, pevnost Vicatu dále nevykazuje tak rychlý nárůst a jeho pevnost stoupá jen pomalu v porovnání s portlandským cementem, kde jeho pevnosti nabývají téměř 2x vyšších hodnot.

10.6. Přidržnost k povrchu

Zkouška byla provedena podle normy ČSN EN 1015-12, kde jako podklad byla použita cihla plná pálená formátu 290 x 135 x 60 mm. Na cihlu, která byla předem navlhčena, aby neodebírala z čerstvé směsi vodu, se nanesly jednotlivé druhy malt. Po zatvrdnutí zkušebních malt se nanesly na každou cihlu 3 ocelové terče, které se k maltě přilepily pomocí dvousložkového lepidla na bázi epoxidové pryskyřice. Po uplynutí 7 dnů se zkoušela přidržnost těchto malt k podkladu (cihle). V tabulce 11 jsou naměřené hodnoty přidržnosti malt k podkladu pomocí přístroje Coming.

Tabulka 11: Naměřené hodnoty přidržnosti zkušebních malt k podkladu

Přidržnost malt k povrchu				
	Napětí [MPa]			Průměrná hodnota napětí [MPa]
	1	2	3	
Románský cement (Remmers)	0,6	0,7	0,9	0,7
Románský cement (Vicat)	0,8	0,9	0,9	0,9
Cementová malta	0,2	1,5	1,3	1,0
Vápenná malta	0	0	0	0

Tabulka 12: Nejmenší pevnost v tahu za ohybu a nejmenší přídržnost malt pro omítky
[17]

Druh malty	Nejmenší pevnost v tahu za ohybu	Nejmenší přídržnost malt pro omítky a spárování k podkladu
	MPa	
Vápenná	0,18	0,10
Ze směsného hydraulického pojiva	1,20	0,15
Vápenocementová	0,70	0,18
Cementová	2,00	0,30
Vápenosádrová	0,80	0,12
Sádrová	0,90	0,12

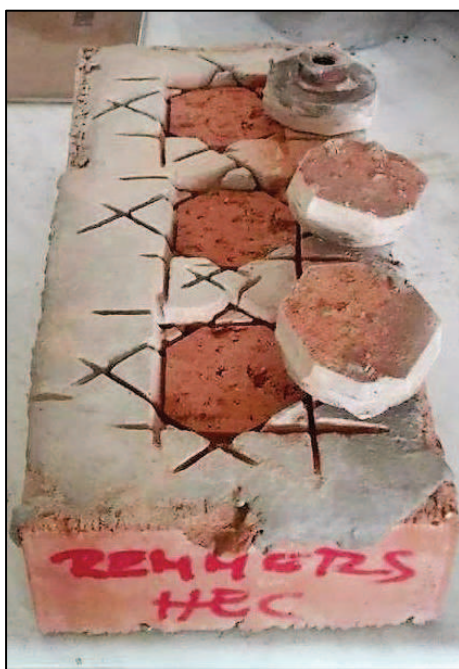
V tabulce 12 můžeme vidět druhy malt pro omítání, ve které se posuzuje nejmenší pevnost v tahu za ohybu a také nejmenší přídržnost malt k povrchu. Z naměřených hodnot zkušebních malt, tyto hodnoty vyhovují minimálním požadavkům v tabulce, kromě hodnot malty vápenné, kde naměřené výsledky nevyhoví jak v tahu za ohybu, tak i přídržnosti k povrchu.



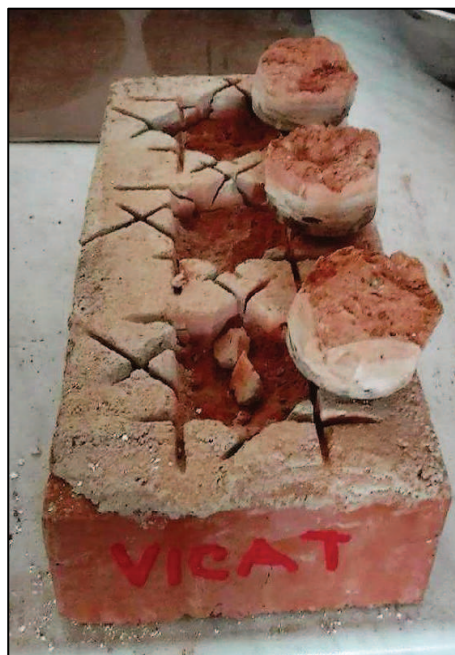
Obrázek 25: Připravené zkušební malty s přilepenými terči ke zkoušce přídržnosti
k podkladu

Z obrázku 25 je patrné, že vápenná malta se již před zkouškou drolí a praská, tudíž i přídržnost této malty k podkladu bude minimální. Jednotlivé terče se následně prořezaly pomocí brusného kotouče, aby došlo k odtržení terčů v požadovaném místě. Vápenná malta se odlamovala a drolila, již při prořezávání brusným kotoučem.

Pomocí přístroje Coming se jednotlivé terče odtrhovaly a zaznamenalo se napětí prováděno kolmým tahem. Při odtržení ocelových terčů se pak zkoumalo, kde došlo k porušení. K porušení mohlo dojít mezi spojením malty a podkladem, ve vrstvě malty nebo v podkladovém materiálu, což je požadovaný způsob porušení.

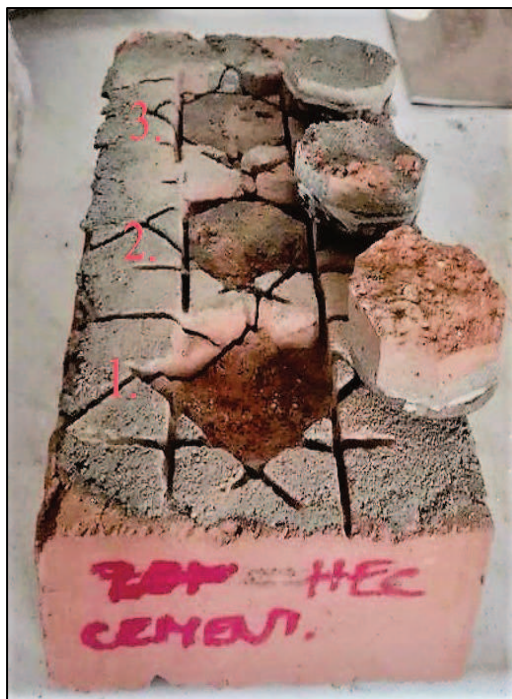


Obrázek 26: Odtržené terče
Remmers



Obrázek 27: Odtržené terče Vicat

Na obrázku 26 je zkušební malta románského cementu Remmers, kde došlo k odtržení terčů na spojení mezi maltou a podkladem (cihlou). Kdežto na obrázku 27, kde je zkušební malta z románského cementu Vicat, došlo k odtržení terčů v podkladovém materiálu. Ideální způsob porušení je právě v podkladovém materiálu, tudíž lepší přídržnost k povrchu mají malty z románského cementu Vicat.



Obrázek 28: Odtržené terče
Portlandský cement



Obrázek 29: Neúspěšné prořezání
vápenné malty

Na obrázku 28 je zkušební malta z Portlandského cementu, kde došlo k porušení jak mezi maltou a podkladem, tak i k porušení v podkladovém materiálu. Takto rozdílné porušení jednotlivých terčů mohlo být zapříčiněno nanášením zkušební malty na podklad, kdy v místě porušení v podkladovém materiálu (terč 1) se čerstvá malta začala nanášet, tudíž byla vyvinuta větší síla na maltu a postupným stíráním se tato síla zmenšovala. Proto odtržení prostředního terče (terč 2) je částečně i v podkladovém materiálu a odtržení posledního terče (terč 3) je již zcela pouze na spojení mezi maltou a podkladem. Na obrázku 29 je zkušební vápenná malta, jak už bylo výše zmíněno, došlo k porušení této malty již při prořezávání brusným kotoučem, tudíž se přídržnost k povrchu ani nezkoušela.

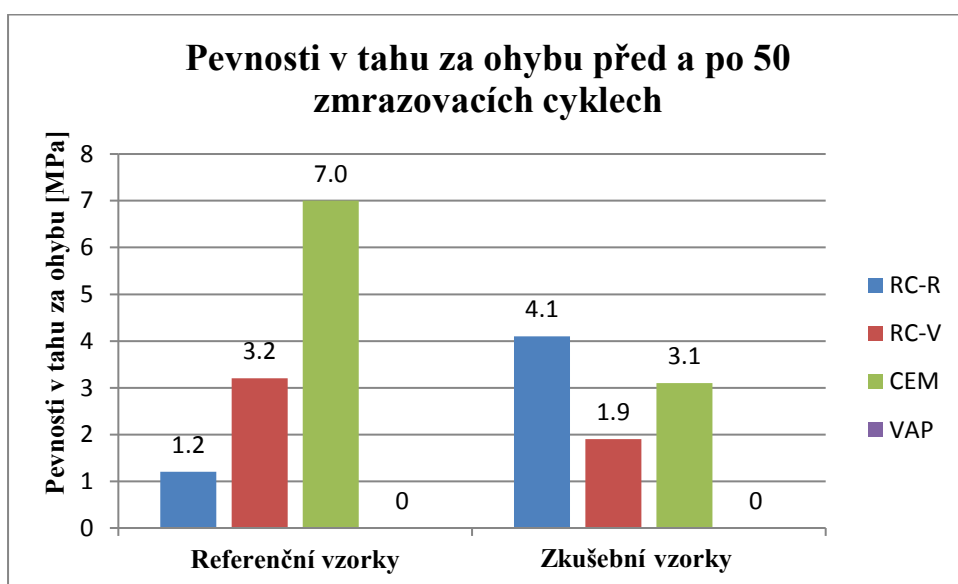
10.7. Mrázuvzdornost

Postup této zkoušky byl proveden podle normy, viz kapitola 9.5. Na zkušebních vzorcích bylo provedeno 50 zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů. Po uplynutí těchto cyklů se zkušební trámečky znovu zvážily a zjistily jejich rozměry. Poté se odzkoušely pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku. Výsledky se porovnály s referenčními trámečky (tab. 13), které byly také odzkoušené na pevnosti v tahu za ohybu a tlaku již před započítáním prvního zmrazovacího cyklu. Při porovnání těchto výsledků se zjišťoval úbytek hmotnosti

zkušebních trámečků, a jak už bylo výše zmíněné, tak i pevnosti a součinitel mrazuvzdornosti malt.

Tabulka 13: Naměřené hodnoty pevností malt v tahu za ohybu a tlaku u referenčních a zkušebních trámečků

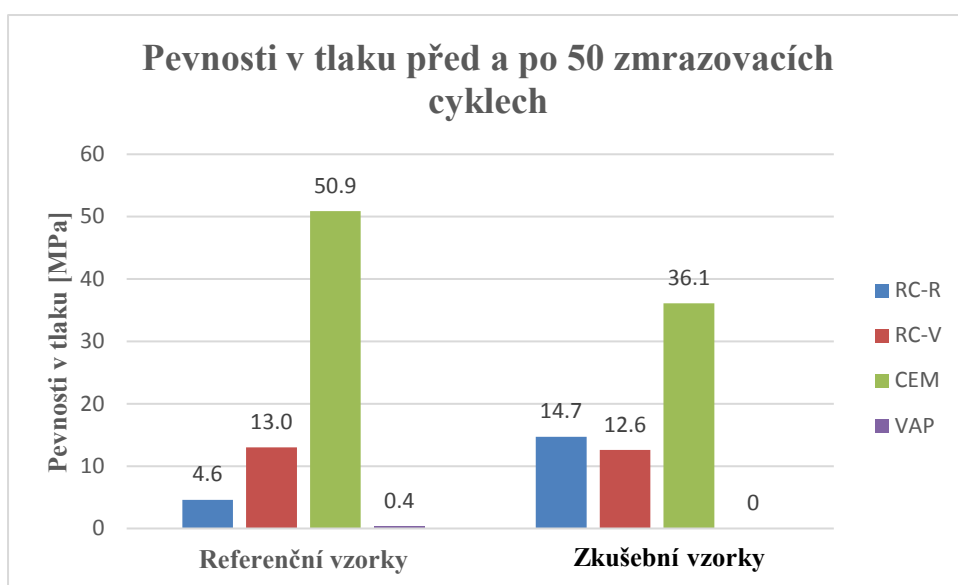
	Referenční vzorky (před 50 cykly)		Zkušební vzorky (po 50 cyklech)	
	Pevnosti v tahu za ohybu [MPa]	Pevnosti v tlaku [MPa]	Pevnosti v tahu za ohybu [MPa]	Pevnosti v tlaku [MPa]
Románský cement (Remmers)	1,2	4,6	4,1	14,7
Románský cement (Vicat)	3,2	13,0	1,9	12,6
Cementová malta	7,0	50,9	3,1	36,1
Vápenná malta	0	0,4	0	0



Obrázek 30: Porovnání pevností v tahu za ohybu referenční a zkušebních těles (RC-R – románský cement Remmers; RC-V – románský cement Vicat; CEM – cementová malta; VAP – vápenná malta)

V obrázku 30 můžeme vidět, že zkušební trámečky, které prošly zmrazovacími cykly, mají poté menší pevnosti než referenční vzorky. U románského cementu Remmers je to ovšem naopak, a to z toho důvodu, že při odformování referenčních vzorků došlo

k metodické chybě, konkrétně ke špatnému vymazání formy a následnému porušení těles (odtržení části vzorků). Z toho důvodu jsou i zjištěné hmotnosti a rozměry menší než u zkušebních vzorků, a tím pádem i výsledné pevnosti jak v tahu za ohybu, tak i v tlaku. Nicméně zkušební trámečky RC-R mají po uplynutí zmrazovacích cyklů nejvyšší pevnost ze všech testovaných malt. Z tohoto faktu lze usuzovat, že románský cement Remmers nejlépe odolává mrazu. Naopak nejhůře odolávají mrazu cementové vzorky, kde došlo k poklesu pevnosti o více jak polovinu. Vápenné vzorky se rozpadly již při 8 cyklu.



Obrázek 31: Porovnání pevností v tlaku referenčních a zkušebních trámeček (RC-R – románský cement Remmers; RC-V – románský cement Vicat; CEM – cementová malta; VAP – vápenná malta)

Jako pevnosti v tahu za ohybu, tak i pevnosti v tlaku jsou u referenčních vzorků vyšší než u těles zkušebních, které prošly zmrazovacím a rozmrazovacím procesem. Opět na obrázku 31 můžeme vidět chybu, u románského cementu Remmers, kde pevnost referenčních vzorků je výrazně menší oproti testovaným tělesům. Vzhledem k tomu, že po určité době, přibližně po 7 dnech, mívají románské cementy Remmers a Vicat podobné hodnoty pevnosti. Na základě těchto faktů můžeme konstatovat, že tyto malty dobře odolávají mrazu. Úbytek pevnosti není tak výrazný v porovnání s cementovou maltou. Cementové trámečky vykazovaly horší odolnost proti mrazu v tahu za ohybu i v tlaku, kde je téměř 30 % úbytek pevnosti v tlaku. Jak už bylo výše zmíněno, vápenné vzorky se rozpadly, již při 8 cyklu viz obrázek 32.

Procentuální úbytek hmotnosti vzorku lze určit tak, že 100 % úbytek hmotnosti byl u malt vápenných, kdy došlo k celkovému rozpadu zkušebních trámečků. U ostatních malt je tento úbytek téměř nulový, jelikož nebyl zaznamenán žádný výrazný úbytek hmotnosti, naopak hmotnost zkušebních vzorků před a po zmrazování byl téměř totožný.



Obrázek 32: Rozpad trámečků z vápenné malty po 8 dnech

11. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo především seznámení se, s již dříve objeveným stavebním materiálem, na který se téměř zapomnělo, ale v současné době se opět vrací na trh a začíná se znovu používat. Jedná se o románský cement, využívaný zejména v oblasti restaurování historických objektů. Během doby, kdy se tento materiál používal málo nebo vůbec, se vynalezly jiné materiály ověřených vlastností, které mohou být před románským cementem upřednostňovány. Proto vznikla myšlenka porovnání čtyř materiálů používaných jak v minulosti, tak i v současnosti. Konkrétně se porovnávaly malty na bázi vápna, portlandského cementu a románského cementu, které se používaly na spárování, omítání a restaurování historických nebo moderních objektů. Porovnání těchto čtyř malt bylo zaměřeno především na restaurátorské požadavky. V současné době se na trhu setkáme se dvěma druhy románského cementu, Remmers a Vicat. Ani jeden druh se nevyrábí na našem území, ale je vyráběn v Polsku a Francii.

Důležitými parametry v oblasti restaurování jsou především počátek a konec tuhnutí (rychlý náběh pevnosti) materiálu, paropropustnost, pórovitost, přídržnost k podkladu a také mrazuvzdornost, či pevnost. Při restaurátorských pracích hraje zásadní roli zpracovatelnost materiálu používaného pro doplňování a opravu fasád, soch a jiných stavebních prvků. Je třeba volit takový materiál, který během pár minut zatuhne a je možné provádět další úkony např. opětovné nanášení čerstvé směsi, seškrábání přebytečné vrstvy nebo vytvarování prvku do původního tvaru. Tímto lze zvýšit efektivnost práce. Další důležitou vlastností je paropropustnost ochranných nátěrů a postřiků pro vodní páry. Hlavním cílem takovýchto zásahů je zajistit, aby nedocházelo k dotaci kapalné vody do konstrukce, ale zároveň umožnit konstrukci tzv. „dýchat“.

Nejčastějším přírodním stavebním materiálem historických objektů a soch byl kámen, konkrétně pískovec anebo opuka. Tyto horniny jsou pórovité a v těchto pórech se může shromažďovat voda nebo jiné škodlivé látky, například polutanty, které mohou kámen degradovat. Nicméně pórovitost nemusí mít pouze negativní dopad na konstrukci, naopak při vhodné distribuci pórů může zajistit rychlejší vysychání objektu. Důležitým parametrem je také přídržnost materiálu k původnímu podkladu nebo odolnost proti povětrnostním vlivům, zejména působení kyselých dešťů a mrazu.

Na závěr lze říci, že malty z románského cementu, z restaurátorského hlediska, jsou vhodnější pro obnovování fasád historických objektů, než malty vápenné nebo cementové. Jak už podle výsledných vlastností těchto materiálů, tak i podle zabarvení. Z vlastní

zkušenosti při odborné stáži na restaurování fasád jsem se setkala jak s cementovými, tak i vápennými druhotnými výspravkami. Památkáři a restaurátoři se snaží zachovat co nejvíce původního materiálu. Díky dobré přidržnosti při odsekávání cementových výspravek dochází ovšem k porušení větší části původního kamene. Z toho důvodu bylo v praxi obtížné tuto výspravku odsekat a neponičit tak původní materiál. Naopak vápenné výspravky, které byly použity na fasádě zámku, bylo až příliš lehké odstranit. Podle zjištěných hodnot jednotlivých zkoušek se dá určit, že vápenné malty nejsou vhodné pro restaurování v exteriéru, kde jsou vystaveny povětrnostním vlivům. Z toho důvodu bych pro daný účel volila románské cementy.

12. Citovaná literatura

- [1] BAUEROVÁ, A. *Zlatý věk země Bójů*. Praha: Československý spisovatel, 1988. 264 s.
- [2] BŘEZINOVÁ, D. et al. *Praha kamenná*. Praha: Národní muzeum, 1996. 287 s.
- [3] HOŠEK, Jiří a Ludvík LOSOS. *Historické omítky, průzkumy, sanace, typologie*. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-6674-4.
- [4] KOTLÍK, P. *Stavební materiály historických objektů 1. vyd.* Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 1999. ISBN 80-7080-347-9.
- [5] RYBAŘÍK, V. *Ušlechtilé stavební a sochařské kameny České republiky*. Hořice v Podkrkonoší: Nadace Střední průmyslové školy kamenické a sochařské v Hořicích v Podkrkonoší, 1994. 218 s.
- [6] SVOBODA, L. et al. *Stavební hmoty*. Bratislava: Jaga, 2004. 471 s
- [7] TIŠLOVÁ, Renáta. *Románský cement - historie, vlastnosti a možnosti použití*. Praha, 2011.
- [8] VRTAL, Roman. *Metody používané při diagnostice zděných konstrukcí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. – ISBN, nebo ISSN by mělo být u každého zdroje, pokud ho ta publikace má, jako že většina má

Zahraniční literatura

- [9] CAILLEUX, E, Marie E VICOTIRE a D SOMMAIN. *A study of natural cement from the French Rhone-Alps region, Proceedings of the International Heritage, Weathering and Conservation Conference*. London: Taylor and Francis, 2007.
- [10] ECKEL, E. C. *Cements, limes and plasters*. 2nd ed. New York.: John Wiley, 1905.
- [11] PARKER, J. *A certain Cement or Terras to be used in Aquatic and other Buildings, and Stucco Work*. Great Britain: James Parker of Northfleet, 1796.
- [12] TARNAWSKI, A. *Kalk, Gyps, Cementkalk und Portland-Cement in Oesterreich-Ungarn*. Wien, Selbstverlag, 1887.

Normy

- [13] ČSN EN 196-3 :*Metody zkoušení cementu - Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti*. Brno, 2005.
- [14] ČSN EN 1015-3: *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím stráscacího stolku)*. Brno, 1999.

- [15] ČSN EN 1015-7: Zkušební metody malt pro zdivo - Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě. Brno, 1999.
- [16] ČSN EN 1015-11: kušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku. Brno, 2000.
- [17] ČSN EN 1015-12: Zkušební metody malt pro zdivo - Část 12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu. Brno, 2000.
- [18] ČSN 72 2452 Zkouška mrazuvzdornosti malty. 1970.

Internetové zdroje

- [19] *Obnova.sk: Pamiatky, remeslá a zbierky ze dne 10. 3. 2016* [online]. obnova.sk, [10. 3. 2016]. Dostupné [www: http://www.obnova.sk/clanok/zdivo-v-romanskem-gotickem-obdobi](http://www.obnova.sk/clanok/zdivo-v-romanskem-gotickem-obdobi).
- [20] *architektura.klenot.cz: Vývoj konstrukcí od pravěku do dnešní doby ze dne 10. 3. 2016* [online]. architektura.klenot.cz [10. 3. 2016]. Dostupné [www: http://architektura.klenot.cz/dejiny-architektury?start=15](http://architektura.klenot.cz/dejiny-architektury?start=15).
- [21] *Krusta* [online]. Opava, 2007 [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <http://www.krustashop.cz/www-krustashop-cz/eshop/1-1-RESTAUROVANI-KAMENE/3-2-Injektaze/5/1598-PARALOID-B72-rozvazovany>
- [22] *Krusta* [online]. Opava, 2007 [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <http://www.krustashop.cz/www-krustashop-cz/eshop/31-1-Atelier-naradi-vybaveni/130-2-Socharske-dlata>
- [23] *homel.vsb.cz: Zkoušení stavebních hmot a výrobků ze dne 17. 4. 2016* [online]. homel.vsb.cz [17. 4. 2016]. Dostupné [www: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty](http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty)
- [24] *Dějiny a současnost* [online]. In: Praha [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <http://dejinyasoucasnost.cz/archiv/2007/9/restaurovat-nebo-konzervovat/>
- [25] ROCARE. *Institute of Art and Technology* [online]. 2010 [cit. 2017-11-03]. Dostupné z: <http://www.rocare.eu/page/pdf/extern/Sbornik%20Romansky%20cement%20-%20historie,%20vlastnosti%20a%20moznosti%20pouziti.pdf>
- [26] *readgur.com: Rekonstrukce a ochrana památek ze dne 10. 3. 2016* [online]. readgur.com, [10. 3. 2016]. Dostupné [www: http://readgur.com/doc/154453/1hk_historicke-zdivo.pdf-397kb-sep-25-2013-09-58-54-pm](http://readgur.com/doc/154453/1hk_historicke-zdivo.pdf-397kb-sep-25-2013-09-58-54-pm)

[27] Náměšť nad Oslavou. *OFICIÁLNÍ WEBOVÁ PREZENTACE STÁTNÍHO ZÁMKU* [online]. Náměšť nad Oslavou: PORTA [cit. 2017-11-03]. Dostupné z: <https://www.zamek-namest.cz/cs/o-zamku/historie>

[28] Náměšť nad Oslavou. *Google obrázky* [online]. Náměšť nad Oslavou [cit. 2017-11-03]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=n%C3%A1m%C4%9B%C5%A1%C5%A5+nad+oslavou&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjFhe3hlqLXAhUFblAKHQY0CIEQ_AUICygC&biw=1920&bih=974#imgrc=6Je67Qp6L_B28M:

